PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 12 | 15. Juni 1938 | Redaktionsschluß für Nr. 14 am 1. Juli 1938 | 39. Jahrgang

INHALT:

Abhandlungen:

R. Herzog und V. Hauk, Vergrößerung des Auflösungsvermögens bei Massenspektrographen. S. 463.

H. Kayser, Statistik der Spektroskopie. S. 466.

Berichte:

K. Diebner und E. Graßmann, Künstliche Radioaktivität III. S. 469.

Besprechungen:

H. Ertel, Methoden und Probleme der dynamischen Meteorologie. S. 501.

Nachrichten. S. 502.

ABHANDLUNGEN

Vergrößerung des Auflösungsvermögens bei Massenspektrographen

Von R. Herzog und V. Hauk

Auf Grund der elektronenoptischen Theorie der Zylinderlinsen[1]) wurde von J. Mattauch und R. Herzog[2]) gezeigt, daß man mittels eines radialen elektrischen Feldes und eines homogenen Magnetfeldes einen Massenspektrographen bauen kann, bei dem sowohl Richtungs- als auch Geschwindigkeitsfokussierung erreicht wird. Besondere Beachtung fand der Spezialfall, bei dem das vom elektrischen Feld entworfene Bild des Kollimatorschlitzes im Unendlichen liegt, weil hierbei sowohl die Polschuhbegrenzung als auch der geometrische Ort aller Bildpunkte eine Gerade wird. Das in diesem Falle erzielbare Auflösungsvermögen ist gegeben durch:

$$d = \frac{a_e}{2s}.$$

Man kann es erhöhen einerseits durch die Vergrößerung des mittleren Bahnradius a_e der Teilchen im elektrischen Feld, andererseits durch Verringerung der Schlitzweite s. In der Praxis würde jedoch einerseits eine Vergrößerung von a_e auf über 50 cm zu einer unhandlich großen Apparatur führen, andererseits würde die Herstellung von Schlitzen von weniger als 10^{-3} cm auf große Schwierigkeiten stoßen. Eine wesentliche Vergrößerung des Auflösungsvermögens ist daher auf diesem Wege nicht mehr zu erreichen.

Man kann jedoch bei konstant gehaltener Strahlenlänge das Auflösungsvermögen beträchtlich steigern, wenn man als abzubildendes Objekt s das stark verkleinerte Bild eines Schlitzes verwendet. Diese Hilfsabbildung wird am zweckmäßigsten wieder durch ein radiales elektrisches Feld ausgeführt. Seinen Radius wird man hier aus Raumersparungsgründen möglichst klein wählen und den abzubildenden Schlitz möglichst weit vor dem Brennpunkt anbringen, damit das Bild stark verkleinert wird. Ein derartiger Massenspektrograph würde also aus zwei elektrischen Feldern (durch die Indizes 1 und 2 unterschieden) und einem Magnetfeld (ohne Index) bestehen. Gegenüber dem früheren Falle eines elektrischen Feldes tritt hier jedoch insofern eine Komplikation auf, als sich das Objekt des zweiten elektrischen Feldes nicht wie ein Schlitz an einer festen Stelle befindet, sondern seine Ordinate von der Energie der Teilchen abhängig ist. Die hierdurch verursachte Änderung der Bedingung für Doppelfokusierung sowie das erzielbare Auflösungsvermögen wird im folgenden berechnet.

Eine nähere Untersuchung hat gezeigt, daß man bei gleicher Strahlenlänge dann eine höhere Auflösung erhält, wenn die Ablenkung in beiden elektrischen Feldern entgegengesetzt erfolgt; es wurde daher im folgenden eine derartige Orientierung der Felder angenommen. Die Ablenkung des Magnetfeldes erfolgt so wie in der ursprünglichen Arbeit[1]) entgegengesetzt dem zweiten Feld. Die Bedingung für Geschwindigkeitsfokusierung sowie die Gleichung für die Auflösung erhält man in analoger Weise wie früher; man hat zu diesem Zwecke bloß in Gleichung {3} b'_{e_2} durch $b'_{e_2} = -b''_{e_1}$ zu ersetzen und hierfür den aus Gleichung [34e] berechneten Wert einzusetzen. [Die in eckigen Klammern gesetzten Formeln wurden mit der ursprünglichen Gleichungsnummer der Arbeit von R. Herzog[2]), die in geschweiften Klammern gesetzten der Arbeit

1) R. Herzog, Zeitschr. f. Phys. **89**, 447, 1934.
2) J. Mattauch und R. Herzog, Zeitschr. f. Phys. **89**, 786, 1934.

1) J. Mattauch und R. Herzog, l. c.
2) R. Herzog, l. c.

von J. Mattauch und R. Herzog[1]) entnommen.] Geschwindigkeitsfokusierung wird

$$K_2 + a(1 - \cos\Phi) + l'[\sin\Phi + \operatorname{tg}\varepsilon'(1 - \cos\Phi)] = 0 \qquad [5]$$

führt, wobei allerdings K_2 nun folgenden Wert hat:

$$K_2 = a_{e_1}\frac{f_{e_1}}{l'_{e_1} - g_{e_1}} \cdot \frac{f_{e_2}}{l'_{e_2} - g_{e_2}} + (a_{e_1} + a_{e_2})\frac{f_{e_2}}{l'_{e_2} - g_{e_2}} + a_{e_2}. \qquad (1)$$

Außer diesen Gleichungen müssen selbstverständlich noch die Bedingungen für Richtungsfokusierung, also die Abbildungsgleichungen erfüllt sein. Diese lauten:

$$(l'_{e_1} - g_{e_1}) \cdot (l''_{e_1} - g_{e_1}) = f_{e_1}^2, \qquad [31e]$$

$$l''_{e_1} + l'_{e_2} = \Delta_1$$

(Distanz zwischen den elektrischen Feldern),

$$(l'_{e_2} - g_{e_2}) \cdot (l''_{e_2} - g_{e_2}) = f_{e_2}^2, \qquad [31e]$$

$$l''_{e_2} + l' = \Delta_2$$

(Distanz zwischen dem zweiten elektrischen und dem magnetischen Felde).

$$(l' - g') \cdot (l'' - g'') = f^2. \qquad [48]$$

Für das Auflösungsvermögen erhält man folgenden Ausdruck:

$$d_2 = \frac{1}{2s'_{e_1}}\left[a_{e_1}\left(1 + \frac{l'_{e_1} - g_{e_1}}{f_{e_1}}\right) + a_{e_2}\left(1 + \frac{l'_{e_2} - g_{e_2}}{f_{e_2}}\right)\frac{l'_{e_1} - g_{e_1}}{f_{e_1}}\right]. \qquad (2)$$

Hierin bedeutet s'_{e_1} die Weite des abzubildenden Schlitzes, die früher schlechtweg mit s bezeichnet wurde.

Für den Spezialfall gerader Polschuhbegrenzung und Bildkurve, also für $l' \to \infty$ und $l'_{e_2} = g_{e_2}$, vereinfachen sich obige Formeln zu:

$$\frac{a_{e_2}}{f_{e_2}} + \frac{a_{e_1}}{f_{e_2}}\left(1 + \frac{f_{e_1}}{l'_{e_1} - g_{e_1}}\right) = \sin\Phi + \operatorname{tg}\varepsilon'(1 - \cos\Phi), \qquad (3)$$

$$d_2 = \frac{1}{2s'_{e_1}}\left[a_{e_1} + (a_{e_1} + a_{e_2})\frac{l'_{e_1} - g_{e_1}}{f_{e_1}}\right]. \qquad (4)$$

Für den einfachsten und auch praktisch wichtigsten Fall $\Phi = \frac{\pi}{2}$, $\varepsilon' = 0$, bei dem die photographische Platte am Feldrand liegt, vereinfacht sich die Geschwindigkeitsfokusierungsbedingung zu:

$$\frac{a_{e_2}}{f_{e_2}} + \frac{a_{e_1}}{f_{e_2}}\left(1 + \frac{f_{e_1}}{l'_{e_1} - g_{e_1}}\right) = 1. \qquad (3')$$

Diskussion: Wir haben oben gesehen, daß es, um die Strahllänge kurz zu halten, gut ist, a_{e_1} möglichst klein zu machen. In diesem Falle kann man den zweiten Term in Gleichung (3') vernachlässigen und man erhält näherungsweise für den Ablenkwinkel im zweiten elektrischen Feld $\frac{a_{e_2}}{f_{e_2}} = \sqrt{2}\sin(\sqrt{2}\Phi_{e_2}) = 1$ die gleiche Bedingung wie im Falle eines einzigen elektrischen Feldes; dieser Winkel wird also nur wenig geändert. Vernachlässigt man andererseits a_{e_1} in Gleichung (4) und beachtet man, daß

$$s'_{e_1}\frac{f_{e_1}}{l'_{e_1} - g_{e_1}} = s''_{e_1} = s'_{e_2}$$

die Größe des zwischen den elektrischen Feldern befindlichen Bildes ist, so erhält man:

$$d_2 = \frac{a_{e_2}}{2s'_{e_1}} \cdot \frac{l'_{e_1} - g_{e_1}}{f_{e_1}} = \frac{a_{e_2}}{2s'_{e_2}}. \qquad (4')$$

Hieraus sieht man, daß man auch in diesem Falle näherungsweise die ursprüngliche Formel für die Auflösung verwenden kann, wenn man an Stelle der Schlitzbreite s die Weite des Zwischenbildes einsetzt. Dieses Ergebnis ist nicht verwunderlich, da bei vernachlässigbar kleinem a_{e_1} auch die Energiedispersion des ersten elektrischen Feldes verschwindet.

In den Größen

$$g_{e_1} = \frac{a_{e_1}}{\sqrt{2}}\operatorname{cotg}(\sqrt{2}\Phi_{e_1}) \quad \text{und} \quad f_{e_1} = \frac{a_{e_1}}{\sqrt{2}\sin(\sqrt{2}\Phi_{e_1})}$$

[1]) J. Mattauch und R. Herzog, l. c.

ist der Ablenkwinkel Φ_{e_1} enthalten; man wird ihn am zweckmäßigsten so wählen, daß d_2 ein Maximum wird. Dies ist dann der Fall, wenn

$$\operatorname{tg}\left(\sqrt{2}\,\Phi_{e_1}\right) = -\frac{l'_{e_1}}{a_{e_1}} \cdot \sqrt{2}\ ; \qquad (5)$$

für $l'_{e_1} \gg a_{e_1}$ erhält man für Φ_{e_1} Winkel, die etwas über 63° 39′ liegen. Bestimmt man Φ_{e_1} aus Gleichung (5), so rückt das Bild an das Ende des elektrischen Feldes ($l''_{e_1} = 0$).

Beispiel: Wir wählen folgende geometrische Anordnung (siehe untenstehende Figur):

$a_{e_1} = 3$ cm, $a_{e_2} = 30$ cm, $l'_{e_1} = 30$ cm,
$\Phi_{e_1} = 64°$, $l''_{e_1} = 0$, $\Delta_1 = l'_{e_2} = \varepsilon_{e_2}$,
$\Phi = 90°$ und $\varepsilon' = 0$.

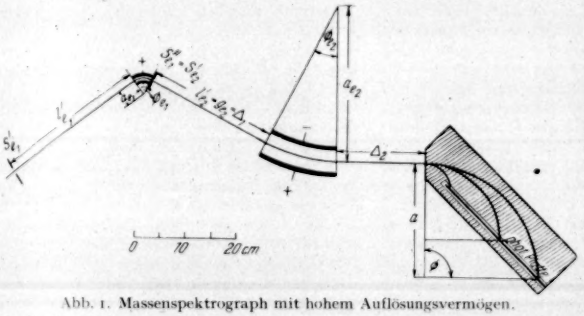

Abb. 1. Massenspektrograph mit hohem Auflösungsvermögen.

Δ_2 ist beliebig und muß nur so groß gewählt werden, daß das Streufeld des Magneten am Ort des elektrischen Feldes zu vernachlässigen ist. Aus Gleichung (3′) erhält man $\Phi_{e_2} = 28° 4'$ (gegenüber 31° 50′ bei einem Feld). Unter der Annahme einer Schlitzbreite von $s'_{e_1} = 10^{-3}$ cm erhält man die beträchtliche Auflösung $d_2 = 235000$. Den erzielten Gewinn erkennt man am besten aus folgendem Vergleich: Würde man bei gleicher Strahllänge eine Anordnung mit nur einem elektrischen Feld bauen, so müßte dieses einen Radius von 58,2 cm besitzen und trotzdem wäre das Auflösungsvermögen bloß ein Achtel des obigen Falles. Würde man andererseits $a_e = 30$ cm lassen, jedoch wie früher statt des Vorsatzfeldes gleich den Schlitz anbringen, so wäre das Auflösungsvermögen s-gar bloß ein Fünfzehntel von jenem der vorgeschlagenen Anordnung.

Vor- und Nachteile: Außer dem schon beschriebenen Hauptzweck einer wesentlichen Vergrößerung des Auflösungsvermögens ergeben sich noch einige andere beachtenswerte Vorteile.

Alle Anordnungen, bei denen die doppelt fokusierte Bildkurve in Strenge eine Gerade ist, bei denen also das Zwischenbild vor dem Magnetfeld im Unendlichen liegt, haben den Nachteil, daß es nicht möglich ist, durch eine zwischen den Feldern angeordnete Blende das zu fokusierende Energieintervall beliebig kleinzumachen. Dies rührt davon her, daß sich an Stelle der Blende kein Bild des Schlitzes befindet, sondern daß hier die unter verschiedenen Richtungen aus dem Schlitz austretenden Strahlen ein breites Parallelstrahlbündel bilden. Selbst bei unendlich dünner Blende können daher Strahlen passieren, die unter verschiedenen Richtungen verschiedene Energie besitzen. Diesem zwar nicht schwerwiegenden Nachteil kann bei Verwendung zweier elektrischer Felder leicht abgeholfen werden, indem man die Blende an die Stelle des zwischen den elektrischen Feldern befindlichen Bildes des Kollimatorschlitzes bringt.

Ferner ist die mechanische Herstellung der Platten des radialen elektrischen Feldes bei kleinen Radien mit normalen Institutsmitteln weit leichter möglich als bei Radien von etwa einem halben Meter.

Schließlich gestattet die Verwendung zweier Felder infolge der größeren Anzahl willkürlich wählbarer Parameter eine weitgehende Verminderung der Bildfehler zweiter Ordnung; die Diskussion der sich hierbei ergebenden Fälle ist einer eigenen Arbeit vorbehalten.

Zur Erzielung gleicher Schwärzung der photographischen Platte, wie im Falle eines elektrischen Feldes, ist es notwendig, daß der Öffnungswinkel des Strahlenbündels zwischen den beiden elektrischen Feldern der gleiche bleibt. Hierzu ist es erforderlich, wesentlich engere und weiter voneinander entfernte Kollimatorschlitze zu verwenden, da das erste stark verkleinernde Feld den Öffnungswinkel des Bündels stark vergrößert. Dies bewirkt jedoch keinen Intensitätsverlust, da im gleichen Maße die Bilder schärfer werden. Mit Rücksicht auf das viel engere Bündel, das den ersten Zylinderkondensator passiert, kann dessen Plattenabstand wesentlich verringert werden, so daß die gleiche Ablenkspannung verwendet werden kann wie beim zweiten elektrischen Feld. Eine Störung durch den Polarisationseffekt[1]) ist hier

1) H. Lichtblau, Sitzungsber. Akad. Wien, Math.-naturwiss. Kl. IIa, **147**, 1 (1938).

auch nicht größer als bei einem elektrischen Feld, da eine Änderung der Ablenkspannung, wegen der starken Verkleinerung, auch nur eine kleine Bildverschiebung verursacht.

Als Nachteil sind in erster Linie die kompliziertere Apparatur und die hierdurch bedingten größeren Justierungsschwierigkeiten zu erwähnen. Ferner ist es ungünstig, daß die ganze Erhöhung der Auflösung nur auf Kosten der Linienbreite geht und die Dispersion konstant bleibt. Wenn auch das Korn der photographischen Platte die Linienschärfe noch nicht begrenzt, so gibt es doch verschiedene Störeffekte, wie schlechtes Vakuum, Aufladungserscheinungen, magnetische Streufelder usw., die eine Verbreiterung der Linien bewirken können. Es ist aber sicher möglich, diese Fehler so weit zu beseitigen, daß durch die Anordnung mit zwei elektrischen Feldern doch ein Gewinn an Auflösungsvermögen erreicht wird.

Zusammenfassung: Es wird gezeigt, daß man die Auflösung bei Massenspektrographen dadurch erhöhen kann, daß man den abzubildenden Schlitz durch das stark verkleinerte Bild eines Schlitzes ersetzt. Diese Abbildung erfolgt am zweckmäßigsten durch ein kleines radiales elektrisches Feld, das sich vor dem bekannten elektrischen Feld des Massenspektrographen befindet. Die hierdurch geänderten Bedingungen für Doppelfokusierung werden abgeleitet und es wird auch ein Ausdruck für das erreichbare Auflösungsvermögen berechnet. Im Anschluß an ein Zahlenbeispiel folgt eine eingehende Diskussion der Vor- und Nachteile einer derartigen Apparatur.

Herrn Prof. Mattauch danken wir bestens für das dieser Arbeit entgegengebrachte Interesse und für manche wertvolle Ratschläge.

Wien, Vereinigtes I. und II. Physikalisches Institut der Universität.

(Eingegangen 2. April 1938)

Statistik der Spektroskopie

Von H. Kayser

Wenn man sich mit einer Wissenschaft eingehend beschäftigt, so bekommt wohl jeder Interesse auch für ihre Entwicklung; ich meine nicht die innere Entwicklung, das Anwachsen der Kenntnisse – das Interesse dafür ist ja selbstverständlich –, sondern die äußere Entwicklung, die Frage nach den Männern und Nationen, welche die Kenntnisse gemehrt haben, nach den Zeiten, wann dies geschehen ist, nach der Intensität der Arbeit, kurz nach der Statistik.

Goethe hat im Jahre 1807 zu Riemer gesagt: „Die Geschichte der Wissenschaft ist eine große Fuge, in der die Stimmen der Völker nach und nach zum Vorschein kommen." In diesem Sinne zu verfolgen, wie die verschiedenen Nationen in der Fuge der Spektroskopie eingesetzt haben und mit welcher Kraft, wie die Musik anschwillt, bis endlich das volle Orchester sich hören läßt, schien mir interessant.

Die Lösung der Aufgabe ist nicht ganz einfach; sie setzt eine sehr vollständige Kenntnis der hierher gehörenden Literatur voraus, um wenigstens quantitativ lösbar zu sein. Eigentlich sollte man noch jede Arbeit mit einer Wertzahl versehen und diese in Rechnung setzen, um den wahren Anteil einer Nation zu ermitteln; aber das ist unausführbar, würde auch ganz subjektiv werden.

Ich habe seit mehr als 50 Jahren die spektroskopische Literatur gesammelt und notiert, und glaube, daß meine Sammlung soweit vollständig ist, wie das einem einzelnen Menschen möglich ist. Es werden sicher nicht 1 Proz. fehlen für die Zeit bis 1913. Dabei sind alle Arbeiten berücksichtigt, die sich auf Emission und Absorption des Lichtes beziehen, also auch z. B. die über Fluoreszenz und Phosphoreszenz, über Absorption im sichtbaren und unsichtbaren Spektrum organischer Stoffe, selbstverständlich die astrophysikalischen Arbeiten. – Für die spätere Zeit ist meine Sammlung nach anderen Gesichtspunkten gemacht: vor allem ist die Astrophysik ganz fortgelassen, aber auch Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Absorption organischer Stoffe. Es sind also im wesentlichen nur die eigentlich spektroskopischen Arbeiten gesammelt, die aus Linien gebildete Spektra behandeln, sei es der Atome, sei es von Molekeln. Aber die Sammlung ist für diese spätere Zeit auch nicht mehr so vollständig. Daran sind erstens die Kriegsjahre schuld, in denen die auswärtige Literatur nicht zugänglich war, – und eine so gewaltige Lücke ist später nur unvollkommen auszufüllen. Dazu kommt, daß nach dem Kriege eine Menge Nationen neu oder stärker in das Konzert eintreten, deren Sprachen ich nicht verstehe; ich nenne nur Japaner, Indier, slawische Nationen wie Russen und Polen. Freilich veröffentlichen alle diese das meiste auf Englisch, Deutsch oder Französisch, aber doch nicht alles. Als dritter Grund kommt hinzu das ungeheure Anschwellen der Literatur, welches ein lückenloses Durcharbeiten fast zur Unmöglichkeit macht: während am Ende des vorigen Jahrhunderts die Zahl der jährlichen Arbeiten in der Welt etwa 200 betrug, ist sie am Ende der zwanziger Jahre auf über 600 in meiner Sammlung gestiegen, obgleich jetzt die vielen oben genannten Fächer fehlen.

Tabelle I

	1800	1805	1810	1815	1820	1825	1830	1835	1840	1845	1850	1855	1860	1865	1870	1875	1880	1885	1890	1895	1900	1905	1910	Summe
Deutsche . . .	1	0	1	1	2	1	1	1	3	7	10	11	23	30	49	60	50	72	81	105	167	144	171	991 × 5 = 4955
Engländer . .	3	0	0	1	1	1	3	4	4	3	3	6	23	29	50	49	61	52	52	60	62	73	69	609 × 5 = 3045
Franzosen . .	1	0	2	1	1	1	0	3	2	6	6	3	14	15	26	35	36	31	32	41	42	74	53	425 × 5 = 2125
Amerikaner .	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	10	19	13	13	31	37	44	70	67	312 × 5 = 1560
Italiener . . .	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	1	0	3	12	24	16	12	8	5	11	11	13	11	134 × 5 = 670
Sonstige . . .	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	2	7	12	16	26	15	17	33	39	42	41	254 × 5 = 1270
Summe	5	0	3	3	4	3	5	10	13	20	22	22	67	95	171	195	198	191	218	287	365	416	412	13625

Meine Sammlung enthält mehr als 20000 Nummern. Diese Arbeiten habe ich nun sortiert nach der Zeit ihres Erscheinens und nach den Nationen. Dabei unterscheide ich:

1. Deutsche,
2. Engländer,
3. Franzosen,
4. Italiener und Spanier zusammen,
5. Amerikaner,
6. alle übrigen Nationen zusammen.

Für die Zeit vor dem Weltkrieg habe ich die Arbeiten für Perioden von fünf Jahren zusammengezählt, also von 1800 bis 1804, von 1805 bis 1809 usw., und die so gewonnenen Zahlen durch 5 geteilt, um das Resultat für ein Jahr zu erhalten. Es zeigt sich, daß vor 1800 so gut wie gar nichts vorhanden ist – abgesehen von Newton. Ich beginne daher mit dem Jahr 1800 und gebe im folgenden die so gewonnene Tabelle.

Überblickt man diese Tabelle, so sieht man, daß im 19. Jahrhundert die Arbeit sehr langsam beginnt und nur drei Nationen sich daran beteiligen: Engländer, Deutsche, Franzosen. Am eifrigsten sind die Engländer, die bis zum Jahr 1830 nach der Tabelle 9 Arbeiten aufweisen, in Wahrheit 5 × 9, da die Tabelle nur jedes fünfte Jahr gibt, die Deutschen 7, die Franzosen 6. Aber die wesentlichsten Arbeiten dieser Zeit sind deutsche, die von Fraunhofer, der erst die Möglichkeit lehrte, Linienspektren rein darzustellen durch Einführung des Kollimators und der dann auch das erste Linienspektrum beobachtete: das Sonnenspektrum mit den Fraunhoferschen Linien. In dieser ganzen Zeit übersteigt die Menge der in einem Jahre auf der ganzen Welt erschienenen Arbeiten nicht die Zahl 5. Im Jahr 1830 lassen zum erstenmal Italiener ihre Stimme hören, im Jahr 1835 „Sonstige" und 1840 Amerikaner. Die Zahl der in der Welt erscheinenden spektroskopischen Schriften in einem Jahre ist bis zum Jahr 1860 auf etwa 20 gestiegen und hat sich auf dieser Höhe in den letzten 15 Jahren gehalten. Dann aber springt sie plötzlich gewaltig in die Höhe, erreicht in den folgenden Dezennien 67, 95, 171. Es ist selbstverständlich, daß dieser gewaltige Anstieg durch Kirchhoff und Bunsen hervorgerufen ist, die ja eigentlich die Spektralanalyse erst begründet haben. Der Sprung ist ein äußerer Beweis dafür. – Jetzt beginnt auch Deutschland der Zahl nach England einzuholen und stark zu überholen: in den 15 Jahren 1900 bis 1914 weisen die Deutschen 482 Arbeiten auf, die Engländer 204, die Franzosen 169, die Amerikaner 181, die Italiener 35, die Sonstigen 122, diese Zahlen sind eigentlich noch wie oben mit 5 zu multiplizieren. – Hervorzuheben ist das schnellere Anwachsen der Amerikaner und der Sonstigen. Dagegen ist das Eintreten Rowlands im Jahr 1882 nicht bemerkbar; die Weltzahlen sind 1880: 198, 1885: 191, 1890: 218, also durchschnittlich unverändert 200. Dann tritt aber ein zweiter großer Sprung auf, die Weltzahlen für die folgenden Dezennien werden: 287, 365, 416 usw. Das hat offenbar mit Rowland nichts zu tun, sondern ist durch die Entdeckung des gesetzmäßigen Baues der Atomspektra bedingt.

Fassen wir diese ganze Periode zusammen, so ist die Fuge begonnen von den Engländern, denen die Deutschen und Franzosen in wachsendem Maße zur Seite treten. Erst gegen Mitte des Jahrhunderts treten die übrigen Nationen der Welt den Musikern bei und wachsen immer schneller, namentlich die Amerikaner, die schließlich schon alle außer den Deutschen eingeholt haben. Die Italiener bleiben dauernd sehr schwach. Nur in einer kurzen Epoche um 1870 sieht es so aus, als seien sie reger; aber das ist auch Täuschung, es beruht nur darauf, daß ein einziger Mann, Secchi, eine Unzahl kleiner Notizen in den Pariser Comptes rendus veröffentlicht. – In zwei Momenten tritt eine gewaltige sprungweise Vermehrung auf, bedingt durch die beiden großen Entdeckungen: Kirchhoff-Bunsen und gesetzmäßiger Bau der Atomspektren. – Die Weltzahl der jährlichen Arbeiten ist von etwa 5 auf etwa 400 gewachsen; die Gesamtzahl der Arbeiten in dieser Zeit beträgt etwa 14000, wovon mehr als ein Drittel, nämlich 4900, auf Deutschlands Rechnung kommen.

Die ruhige Entwicklung wird nun durch den Weltkrieg unterbrochen. Ich gebe die Statistik nur noch für die Zeit von 1920 bis 1930, aber

Tabelle II

	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	Summe
Deutschland	70	81	71	85	98	119	120	120	140	110	110	1124
England	30	12	23	28	60	81	81	86	68	84	36	589
Frankreich	21	53	37	46	34	34	37	28	30	34	31	385
Amerika	61	92	67	54	118	112	179	170	207	192	130	1382
Italien	3	0	3	10	6	8	3	10	22	20	5	90
Sonstige	12	25	41	59	82	83	134	98	175	190	232	1131
Summe	197	263	242	282	398	437	554	512	642	630	544	4701

für jedes einzelne Jahr. Dazu bemerke ich ausdrücklich, daß diese Tabelle nicht mit der vorigen auf eine Linie gestellt werden darf, da jetzt alle Arbeiten über Astrophysik, Absorption organischer Stoffe usw. unberücksichtigt geblieben sind; sonst würden die Zahlen um vielleicht 20 Proz. höher sein.

Diese Tabelle zeigt das außerordentliche Anwachsen der Literatur: die Weltzahl pro Jahr beträgt um 1920 etwa 200, steigt bis 1930 auf etwa 600; das heißt nahezu täglich zwei Arbeiten. Italien bleibt auch in dieser Zeit nur schwach beteiligt, England und Frankreich wachsen nur mäßig, Deutschland stark. Aber Amerika wächst sehr stark, es überholt Deutschland und marschiert nun an der Spitze aller Nationen. Aber noch schneller ist das Wachstum der Sonstigen, die von 12 pro Jahr auf 200 ansteigen. Es lohnt sich daher, diese Nationen genauer zu betrachten, und ich gebe ihren Anteil in der Tabelle III. Ich unterscheide hier: nordische Nationen (Norweger, Schweden, Dänen); Holland; slawische Nationen (namentlich Russen und Polen); Japaner; Indier. Aber, wie schon früher bemerkt, sind diese Listen nicht vollständig, sie sollten höhere Zahlen aufweisen.

Tabelle III

	1920	1921	1922	1923	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1930	Summe
Nordische Nationen	6	8	15	24	22	14	27	20	22	30	57	245
Holland	0	5	9	3	20	28	36	20	45	34	46	246
Slawische Nationen	0	1	5	17	17	20	25	25	31	38	37	216
Japaner	1	6	6	12	12	14	39	15	31	36	32	204
Indier	5	5	6	13	11	7	7	18	46	57	20	195

Man sieht, daß alle diese Nationen sehr schnell wachsen; sie beginnen 1920 mit durchschnittlich 5 Arbeiten, endigen 1930 mit durchschnittlich 40; Holland und die nordischen Staaten gehen etwas schneller.

Ich breche hiermit die Übersicht ab; würde ich sie fortsetzen, so würde man sehen, daß der Höhepunkt der Tätigkeit überstiegen ist, daß die Zahl der Arbeiten abnimmt. Man sieht das auch in Tabelle II, wo alle Nationen, außer den „Sonstigen", die den Eifer der Jugend zeigen, im Jahr 1930 weniger Arbeiten haben als in 1928.

Die Fuge im Goetheschen Sinne hat also in England im Anfang des vorigen Jahrhunderts begonnen; die Deutschen stehen ihnen zur Seite, aber überholen sie an Fülle schon in der Mitte des Jahrhunderts; in schwächerem Maße verhalten sich die Franzosen ebenso. Aber bis zum Jahr 1860 ist die Musik noch ganz unsicher und schwankend, jeder spielt nach seiner Laune, es kommt nichts Erfreuliches heraus. Erst Kirchhoff und Bunsen geben die eigentliche Melodie, und nun schließen sich alle zivilisierten Nationen in steigendem Maße an, immer geführt von Deutschland. Aber nach dem Kriege hat sich die Lage geändert: jetzt führt der Westen, die Amerikaner, aber auch der Ferne Osten wächst so rapide an, daß Europa in Gefahr kommt, überrannt zu werden. Die Melodie freilich, den geistigen Inhalt, hat Europa schon geliefert.

Bonn, Januar 1938.

(Eingegangen 20. Januar 1938)

BERICHTE

Künstliche Radioaktivität III

Von K. Diebner und E. Graßmann

Die Abhandlung stellt eine Fortsetzung der beiden bisher erschienenen zusammenfassenden Berichte über „künstliche Radioaktivität“ [1]) dar. Es sind nur die Elemente angeführt, die bei der Berücksichtigung des Schrifttums bis März 1938 neue Ergebnisse aufweisen. Bei den Elementen, die erst neuerdings aktiviert werden konnten, sind Ordnungszahlen und Symbole doppelt, bei solchen, wo nur Ergänzungen auftreten, einfach unterstrichen.

Da die vorliegende Fortsetzung an sich unvollständig ist, weil die bisherigen Ergebnisse über die künstliche Radioaktivität auf drei Berichte verteilt sind, ist beabsichtigt, in der nächsten Abhandlung eine Gesamtdarstellung zu bringen.

I. Künstliche Radioaktivität durch α-Strahlen

Bei der Erzeugung künstlicher Radioaktivität durch α-Teilchen sind die Coulombschen Abstoßungskräfte zwischen dem zu beeinflussenden Atomkern und dem auftretenden α-Teilchen wegen der zweifachen Ladung des α-Teilchens groß, so daß bei Kernen mit großer Kernladung nur α-Teilchen sehr hoher Geschwindigkeit Aussicht haben, diese Kräfte zu überwinden und in den Kern einzudringen. Derartig energiereiche α-Teilchen standen bisher nicht zur Verfügung, so daß die Aktivierung nur bei „leichten“ Elementen gelang, deren Atomkerne sich durch eine niedrige Kernladungszahl auszeichnen. Mit der als „Cyclotron“ bekannten Anlage zur Beschleunigung von Ionen gelang es, α-Teilchen mit Energien von $12 \cdot 10^6$ eV zu erzeugen, mit denen dann auch die Aktivierungsversuche an schweren Elementen, und zwar bis zu dem Element 46 — Palladium —, erfolgreich durchgeführt werden konnten.

3. *Li.* Entgegen den Ergebnissen von Meitner, aber in Übereinstimmung mit denen von Schnetzler konnte Eckardt (257) eine Aktivität des Lithiums bei Beschießung mit den α-Strahlen des Thoriums-C′ nicht beobachten.

5. *B.* Ridenour u. a. (258, 308) bestätigen die auf das aktive Stickstoffisotop $^{13}_{7}N$ zurückzuführende Aktivität des Bors von 10,5 bzw. 10,3 min Halbwertszeit. Die Ausbeute des aktiven Prozesses betrug $4{,}6 \cdot 10^{-6}$ aktive Atome pro α-Teilchen.

Der Kern $^{10}_{5}B$ hat nach Fahlenbrach (121) Resonanzstellen für α-Teilchen von $3 \cdot 10^6$ eV und $4{,}4 \cdot 10^6$ eV.

7. *N.* Die Halbwertszeit der durch den Kern $^{17}_{9}F$ hervorgerufenen Stickstoffaktivität maßen Ridenour u. a. (258, 308) zu 69 bzw. 64 s, Meye (259) zu $72 \pm 0{,}6$ s.

Nach letzterem ist die obere Energiegrenze der emittierten Positronen $1{,}2 \cdot 10^6$ eV in Übereinstimmung mit den bisherigen Daten.

Resonanzstellen konnten nicht beobachtet werden.

9. *F.* Laslett (260) fand für die obere Energiegrenze der in der bekannten Fluoraktivität emittierten Positronen den von den bisherigen Daten etwas abweichenden Wert von $0{,}58 \cdot 10^6$ eV.

12. *Mg.* Für Magnesium bestehen drei aktive Umwandlungsmöglichkeiten:

1. $^{24}_{12}Mg + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{27}_{14}Si + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{27}_{14}Si \rightarrow {}^{27}_{13}Al + e^+$,
2. $^{25}_{12}Mg + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{28}_{13}Al + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{28}_{13}Al \rightarrow {}^{28}_{14}Si + e^-$,
3. $^{26}_{12}Mg + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{29}_{13}Al + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{29}_{13}Al \rightarrow {}^{29}_{14}Si + e^-$.

Für den ersten Prozeß gaben Eckardt (257) und Meye (259) als Halbwertszeit 7,5 min bzw. $6{,}6 \pm 0{,}3$ min an. Für den zweiten Prozeß wurde als Halbwertszeit $2{,}20 \pm 0{,}4$ min (257), $2{,}3 \pm 0{,}1$ min (259) und 2,56 min von Ridenour u. a. (308) angegeben. Diese Werte stimmen mit der bisher beobachteten Zerfallszeit des Kerns $^{28}_{13}Al$ gut überein.

Für den dritten Prozeß konnte Meye (259) keine Anzeichen finden.

Nach Meye (259) und Chang und Szalay (261) zeigten die Anregungskurven des zweiten Prozesses zwei Resonanzstellen von 5,5 und $6{,}2 \cdot 10^6$ eV bzw. 5,6 und $6{,}3 \cdot 10^6$ eV in Einklang mit früheren Beobachtungen. Nach ersterem soll der Kern $^{24}_{12}Mg$ dieselben Anregungsniveaus wie der Kern $^{25}_{12}Mg$ haben.

Eckardt (257) fand als Ausbeute insgesamt $5{,}9 \cdot 10^{-8}$ aktive Atome pro α-Teilchen, im einzelnen: für den ersten Prozeß $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ aktive Atome pro α-Teilchen, für den zweiten Prozeß $4{,}2 \cdot 10^{-8}$ aktive Atome pro α-Teilchen. Ridenour u. a. (308) geben als Ausbeute des zweiten Prozesses dagegen $2{,}7 \cdot 10^{-5}$ aktive Atome pro α-Teilchen an. Die obere Energiegrenze der emittierten Teilchen war für den ersten Prozeß:

[1]) K. Diebner und E. Graßmann, Physik. Zeitschr. **37**, 359, 1936 und Physik. Zeitschr. **38**, 406, 1937.

$1{,}5 \cdot 10^6$ eV Curie und Joliot (78a), bei einfacher Extrapolation $1{,}58 \cdot 10^6$ eV, bei Extrapolation gemäß der Konopinski-Uhlenbeckschen Theorie — K.U.-Theorie — $2{,}00 \cdot 10^6$ eV Eckardt (257) und $2{,}75 \cdot 10^6$ eV Meye (259). Für den zweiten Prozeß: $2{,}2 \cdot 10^6$ eV Curie u. a. (78a), bei einfacher Extrapolation $1{,}86 \cdot 10^6$ eV, bei Extrapolation gemäß der K.U.-Theorie $2{,}29 \cdot 10^6$ eV Eckardt (257) und $1{,}8 \cdot 10^6$ eV Meye (259).

Für den dritten Prozeß: 3,5 bzw. $3{,}1 \cdot 10^6$ eV Alichanow u. a. (168e und 262), bei einfacher Extrapolation $3{,}1 \cdot 10^6$ eV, bei Extrapolation gemäß der K.U.-Theorie $3{,}86 \cdot 10^6$ eV Eckardt (257).

13. *Al.* Die Halbwertszeit der auf den Kern $^{30}_{15}P$ zurückzuführenden Aktivität des Aluminiums wurde von Ridenour u. a. (258, 308) zu 2,52 min bzw. 2,55 min, von Meye (259) zu $2{,}9 \pm 0{,}3$ min und von Yu-Yen Sha (263) zu $3{,}15 \pm 0{,}05$ min gemessen. Diese Werte streuen ebenso stark wie die früheren. Die obere Energiegrenze der emittierten Positronen wurde von Alichanow u. a. (262) mit $3{,}5 \cdot 10^6$ eV, von Meye (259) mit $2{,}6 \cdot 10^6$ eV und von Yu-Yen Sha (263) mit $2{,}56 \cdot 10^6$ eV angegeben. Nach letzterem änderte sich die obere Grenze mit der Energie der α-Teilchen, wodurch der Unterschied in den gemessenen Werten bedingt sein soll.

Entgegen einer bisherigen Vermutung konnte Meye (259) das Fehlen langsamer Positronen in dem Spektrum nicht bestätigen.

Nach Yu-Yen Sha (263) bestehen wahrscheinlich für die Positronenemission zwei Resonanzstellen bei α-Teilchen von der Reichweite 42,8 und 53,8 mm. Die untere Grenze der Anregungsmöglichkeit liegt bei Teilchen einer Reichweite von 31,2 mm.

Die Ausbeute beträgt nach Ridenour (308) für die 2,55 min-Periode $1{,}6 \cdot 10^{-5}$ aktive Atome pro α-Teilchen.

15. *P.* Ridenour u. a. (308) maßen die Halbwertszeit der Phosphoraktivität zu 32 min gegenüber dem früheren Wert von 40 min. Die Ausbeute betrug $3{,}4 \cdot 10^6$ aktive Atome pro α-Teilchen.

17. *Cl.* Die Aktivität des Chlors bei Beschießung mit α-Teilchen ist erst in letzter Zeit gefunden worden.

Hurst und Walke (264), Henderson u. a. (265) und Ridenour u. a. (308) führten die Aktivität wegen ihrer Stärke und wegen des Häufigkeitsverhältnisses der Chlorisotope $^{35}_{17}Cl$ zu $^{37}_{17}Cl = 76$ zu 24 auf das Chlorisotop $^{35}_{17}Cl$ zurück. Dementsprechend nahmen sie als Umwandlungsprozeß:

$$^{35}_{17}Cl + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{38}_{19}K + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{38}_{19}K \rightarrow {}^{38}_{19}A + e^+$$

an.

Pollard, Schultz und Brubaker (266) setzten dagegen als Umwandlungsgleichung:

$$^{37}_{17}Cl + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{40}_{19}K + {}^{1}_{0}n$$

an.

Das aktive Kaliumisotop wurde von Henderson u. a. (265) chemisch nachgewiesen. Die Halbwertszeit wurde von ihnen (265) zu $7{,}5 \pm 0{,}1$ min, von Hurst und Walke (264) zu $7{,}75 \pm 0{,}1$ min und von Ridenour u. a. (308) zu 7,65 min gemessen.

Die obere Grenze der Positronenenergie war etwa $3 \cdot 10^6$ eV (265), $2 \cdot 10^6$ eV (264) bzw. $2{,}3 \cdot 10^6$ eV (308). Nach Hurst und Walke (264) war die Aktivität mit einer γ-Strahlung verbunden und hatte eine Ausbeute von $2 \cdot 10^6$ α-Teilchen/aktives Atom. Ridenour u. a. (308) gaben als Ausbeute übereinstimmend $3{,}0 \cdot 10^6$ aktive Atome pro α-Teilchen an.

19. *K.* Walke (267, 309) beobachtete bei Kalium zwei Aktivitäten von $4{,}1 \pm 0{,}2$ h und 52 ± 2 h. Für die kurze Periode wurde der Prozeß:

$$^{39}_{19}K + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{42}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{42}_{21}Sc \rightarrow {}^{42}_{20}Ca + e^+,$$

für die lange Periode der Prozeß:

$$^{41}_{19}K + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{44}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{44}_{21}Sc \rightarrow {}^{44}_{20}Ca + e^+$$

angesetzt.

Zyw hatte früher die von ihm beobachtete Aktivität von 3 h auf den zweiten, hier für die lange Periode in Anspruch genommenen Prozeß zurückgeführt.

Die obere Grenze der Positronenenergie lag nach Walke (309) bei $1{,}6 \cdot 10^6$ eV.

Die Ausbeute war für die 4,1-h-Periode 10^7 α-Teilchen pro aktives Atom, für die 52-h-Periode $3{,}5 \cdot 10^9$ α-Teilchen pro aktives Atom. Werden die Ausbeuten jedoch auf gleiche Häufigkeiten der Isotope ^{39}K und ^{41}K bezogen, so ergab sich für die 4,1-h-Periode 10^7 α-Teilchen pro aktives Atom und für die 52-h-Periode $0{,}6 \cdot 10^7$ α-Teilchen pro aktives Atom.

20. *Ca.* Die von Frisch früher angenommene Umwandlungsgleichung für die Aktivität des Kalziums:

$$^{40}_{20}Ca + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{43}_{21}Sc + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{43}_{21}Sc \rightarrow {}^{43}_{20}Ca + e^+$$

wurde von Pollard und Brasefield (268) bestätigt, zumal die hier beobachtete Halbwertszeit — nach Walke (267) 4,0 h — mit derjenigen bei Beschießung von Kalzium mit Deutonen übereinstimmt.

Die obere Grenze der Positronenenergie war nach Walke (309) $1{,}3 \cdot 10^6$ eV, also um $0{,}25 \cdot 10^6$ eV kleiner als der Wert bei der durch ein aktives Skandium-Isotop hervorgerufenen Aktivität des Kaliums von 4,1 h. Daher ist eine

Identität der Kalziumaktivität von 4 h und der Kaliumaktivität von 4,1 h ausgeschlossen.

21. *Sc.* Die neuerdings von Walke (312) beobachtete Aktivität des Skandiums von $16{,}2 \pm 0{,}3$ d wurde auf Grund chemischer Untersuchungen dem Prozeß:

$$^{45}_{21}Sc + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{48}_{23}V + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{48}_{23}V \rightarrow {}^{48}_{22}Ti + e^{+}$$

zugeschrieben.

Die Ausbeute wurde zu $2 \cdot 10^{7}$ α-Teilchen pro aktives Atom gemessen.

22. *Ti.* Die Aktivität des Titans bei Beschießung mit α-Teilchen ist erst neuerdings von Walke (269, 311) beobachtet worden. Es zeigten sich folgende Perioden (311):

1. 34 ± 1 min:

$$^{46}_{22}Ti + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{49}_{23}V + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{49}_{23}V \rightarrow {}^{49}_{22}Ti + e^{+}$$

mit einer Ausbeute von $5 \cdot 10^{6}$ α-Teilchen pro aktives Atom.

2. $3{,}7 \pm 0{,}2$ h:

$$^{47}_{22}Ti + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{50}_{23}V + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{50}_{23}V \rightarrow {}^{50}_{22}Ti + e^{+}$$

mit einer Ausbeute von $7{,}5 \cdot 10^{6}$ α-Teilchen pro aktives Atom.

3. 68 ± 4 h mit einer Ausbeute von $3{,}5 \cdot 10^{6}$ α-Teilchen/aktives Atom.

4. ~180 d mit einer Ausbeute von $1 \cdot 10^{6}$ α-Teilchen/aktives Atom.

Die beiden letzten Perioden sind auf die Kerne $^{49}_{24}Cr$, $^{51}_{24}Cr$ oder $^{53}_{23}V$ zurückzuführen.

23. *V.* Ridenour u. a. (308) fanden kürzlich bei der Aktivierung des Vanadiums eine Periode von 1,2 min und eine schwächere von 67 min. Da als Träger der Vanadiumaktivität nur das Isotop $^{54}_{25}Mn$ in Frage kommt, muß also entweder eine der beiden Perioden einer Verunreinigung zugeschrieben werden — für eine derartige Verunreinigung lagen jedoch keine weiteren Anzeichen vor — oder der Kern $^{54}_{25}Mn$ muß isomer sein und mit verschiedenen Zerfallszeiten in $^{54}_{24}Cr$ und $^{54}_{26}Fe$ übergehen.

24. *Cr.* Henderson und Ridenour (270, 308) fanden bei Chrom zwei schwache Perioden, für die ein aktives Eisen- und ein aktives Manganisotop chemisch nachgewiesen wurde. Die eine, mit Positronenemission verbundene Aktivität von 8,9 min Halbwertszeit führten sie (270) auf den Prozeß:

$$^{52}_{24}Cr + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{55}_{26}Fe + {}^{1}_{0}n\,,$$

später jedoch auf den Prozeß (308):

$$^{50}_{24}Cr + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{53}_{26}Fe + {}^{1}_{0}n$$

zurück.

Die Zerfallsmöglichkeiten des Eisenisotops sind folgende:

1: $^{53}_{26}Fe \rightarrow {}^{53}_{25}Mn + e^{+}$.

Da das Isotop $^{53}_{25}Mn$ als stabiles Isotop nicht gefunden worden ist, müßte es sehr selten sein.

2. $^{53}_{26}Fe \rightarrow {}^{53}_{25}Mn + e^{+}$
$\qquad\qquad\searrow\ {}^{53}_{24}Cr + e^{+}$.

In diesem Falle müßte der Zerfall des als aktiv angenommenen Mn-Isotops entweder mit sehr kurzer, sehr langer oder gleicher Halbwertszeit wie der Zerfall des Eisenisotops vor sich gehen.

3. $^{53}_{26}Fe \rightarrow {}^{53}_{25}Mn + e^{+}$
$\qquad\qquad\searrow\ + e^{-} \rightarrow {}^{53}_{24}Cr$.

In diesem Prozeß fängt das aktive Manganisotop ein Elektron der K-Schale ein.

Die andere, mit Elektronenemission verbundene Aktivität von 160 min Halbwertszeit, wurde dem Prozeß:

$$^{53}_{24}Cr + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{56}_{25}Mn + {}^{1}_{1}H$$

zugeschrieben. Die Ausbeute dieses Prozesses war $3{,}0 \cdot 10^{-7}$ aktive Atome/α-Teilchen.

Nach langer Bestrahlungszeit ergab sich für das Verhältnis der beiden Perioden:

$$^{56}Mn : {}^{55}Fe = 3 : 10\,,$$

was mit dem Häufigkeitsverhältnis der beiden Chromisotope ^{53}Cr und ^{52}Cr von 1 : 8 in Einklang steht.

27. *Co.* Bei Kobalt beobachteten Ridenour und Henderson (270, 271, 308) eine Aktivität von $9{,}65 \pm 0{,}07$ bzw. 10,0 min, die sie dem Prozeß:

$$^{59}_{27}Co + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{62}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{62}_{29}Cu \rightarrow {}^{62}_{28}Ni + e^{+}$$

zuordneten.

Die Ausbeute betrug $2{,}4 \cdot 10^{-6}$ aktive Atome/α-Teilchen.

28. *Ni.* Bei Nickel fanden Ridenour und Henderson (271, 272, 308) eine starke, mit Positronenemission verbundene Aktivität von $3{,}25 \pm 0{,}05$ h (271, 272) bzw. $3{,}4 \pm 0{,}1$ h (308):

$$^{58}_{28}Ni + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{61}_{29}Cu + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{61}_{29}Cu \rightarrow {}^{61}_{28}Ni + e^{+}.$$

Mit einer Ausbeute von $8{,}6 \cdot 10^{-7}$ aktiven Atomen pro α-Teilchen. Das aktive Kupferisotop wurde chemisch nachgewiesen.

Die obere Grenze der Positronenenergie lag bei $0{,}94 \cdot 10^{6}$ eV.

Bei Steigerung der Energie der α-Teilchen trat eine zweite Aktivität von 34 ± 3 bzw. 37 min auf, die zweifellos auf den Kern $^{63}_{30}Zn$

zurückzuführen ist. Die Ausbeute betrug in diesem Fall $3{,}0 \cdot 10^{-7}$ aktive Atome/α-Teilchen. Nach langer Bestrahlungszeit verhielten sich die Aktivitäten $^{63}_{30}Zn : {}^{61}_{29}Cu = 10 : 29$.

29. *Cu.* Die von Ridenour und Henderson (270, 271, 308) und von Mann (273) beobachteten Aktivitäten des Kupfers wurden den Prozessen:

1. $^{63}_{29}Cu + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{66}_{31}Ga + {}^{1}_{0}n \quad {}^{66}_{31}Ga \rightarrow {}^{66}_{30}Zn + e^+$,
2. $^{65}_{29}Cu + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{68}_{31}Ga + {}^{1}_{0}n \quad {}^{68}_{31}Ga \rightarrow {}^{68}_{30}Zn + e^+$

zugeschrieben.

Die aktiven Isotope konnten in beiden Fällen chemisch nachgewiesen werden.

Die Halbwertszeit des ersten Prozesses wurde zu $9{,}4 \pm 0{,}4$ h (270, 308) und zu $9{,}2 \pm 0{,}2$ h (273), und die des zweiten Prozesses zu 59 ± 1 min (271), zu 68 ± 4 min (270, 308) und zu 66 ± 3 min (273) gemessen.

Die obere Grenze der Positronenenergie für den ersten Prozeß ergab sich nach Mann (273) aus Absorptionsmessungen zu $3{,}1 \cdot 10^6$ eV, aus Nebelkammeraufnahmen zu $3{,}9 \cdot 10^6$ eV. Es ist möglich, daß dieses Positronenspektrum aus zwei Teilspektren besteht. Vorläufig ist der Unterschied jedoch ungeklärt.

Die obere Grenze der Positronenenergie des zweiten Prozesses war nach Ridenour und Henderson (270) $2{,}2 \cdot 10^6$ eV (308), $1{,}85 \cdot 10^6$ eV, nach Mann (273) bei Absorptionsmessungen $1{,}8 \cdot 10^6$ eV, bei Nebelkammeraufnahmen $1{,}9 \cdot 10^6$ eV.

Die Anregungskurve des zweiten Prozesses stimmte nach Messungen von Mann (273) mit derjenigen überein, die sich aus der Gamowschen Theorie für den Kernradius von $7 \cdot 10^{-13}$ cm ergibt.

Die Ausbeute des ersten Prozesses betrug $2{,}7 \cdot 10^{-7}$ aktive Atome/α-Teilchen. Die Ausbeute des zweiten Prozesses betrug $1{,}5 \cdot 10^{-6}$ aktive Atome/α-Teilchen. Bei langer Bestrahlungszeit verhielten sich die Aktivitäten von $^{68}Ga : {}^{66}Ga = 10 : 4$ (270) und die Aktivitäten von $Co : Ni : Cu = 100 : 22 : 15$ (271).

30. *Zn.* Bei Verwendung energiereicher α-Teilchen ($15 \cdot 10^6$ eV) konnte Mann (366) die schon früher beobachtete Aktivität des Zinks bestätigen. Es zeigten sich die Perioden von 20 min, 32 h, 55 h und etwa 2 Wochen.

Die 20-min-Periode und die 55-h-Periode waren gemäß chemischer Untersuchungen auf aktive Galliumisotope zurückzuführen, die erstere auf $^{70}_{31}Ga$, die letztere auf $^{71}_{32}Ga$. Die 32-h-Periode ist möglicherweise dem Isotop $^{71}_{32}Ga$ zuzuordnen.

Die obere Energiegrenze der mit den Perioden von 20 min bzw. 32 h emittierten β-Teilchen war $2{,}6 \cdot 10^6$ eV bzw. $1{,}2 \cdot 10^6$ eV.

33. *As.* Bei Arsen fand Snell (274, 310) eine mit Positronenemission verbundene, starke Aktivität von 6,3 min bzw. $6{,}4 \pm 0{,}1$ min:

$$^{75}_{33}As + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{78}_{35}Br + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{78}_{35}Br \rightarrow {}^{78}_{34}Se + e^+.$$

Das aktive Bromisotop wurde chemisch nachgewiesen. Die Halbwertszeit von 6,3 min wurde von Henderson und Ridenour (270, 308) bestätigt.

Die obere Grenze der Positronenenergie lag bei $2{,}3 \cdot 10^6$ eV (310). Die Ausbeute betrug $3{,}7 \cdot 10^{-7}$ aktive Atome pro α-Teilchen.

35. *Br.* Ridenour u. a. (308) beobachteten bei Brom:

1. Eine mit Positronenemission verbundene Aktivität von 1,5 min:

$$^{79}_{35}Br + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{82}_{37}Rb + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{82}_{37}Rb \rightarrow {}^{82}_{36}Kr + e^+$$

bei einer Ausbeute von $2{,}0 \cdot 10^{-7}$ aktiven Atomen pro α-Teilchen.

2. Eine ebenfalls mit Positronenemission verbundene Aktivität von 9,8 min:

$$^{81}_{35}Br + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{84}_{37}Rb + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{84}_{37}Rb \rightarrow {}^{84}_{36}Kr + e^+$$

bei einer Ausbeute von $1{,}4 \cdot 10^{-7}$ aktiven Atomen pro α-Teilchen.

45. *Rh.* Bei Rhodium fand sich nach den Untersuchungen von Pool, Cork und Thornton (275, 362) ein weiterer Fall von Isomerie. Die beiden schwachen Aktivitäten von 25,5 bzw. 24,5 min und 8,2 d sind dem Prozeß:

$$^{103}_{45}Rh + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{106}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n$$

$$^{106}_{47}Ag \rightarrow {}^{106}_{46}Pd + e^+ \quad (25\text{ min})$$

$$\searrow\ {}^{106}_{48}Cd + e^- \quad (8{,}2\text{ d})$$

zuzuschreiben.

Die obere Grenze der Positronenenergie war $1{,}9 \cdot 10^6$ eV (362).

46. *Pd.* Bei Palladium trat in den Versuchen von Pool (362) eine Periode von 7,5 d auf, die möglicherweise mit der 8,2-d-Periode des Isotopes $^{106}_{47}Ag$ (siehe $Ag + {}^{1}_{0}n$) identisch ist.

Besondere Gesetzmäßigkeiten bei der Aktivierung mit α-Strahlen haben sich bei der immerhin noch geringen Zahl von aktivierten Elementen nicht ergeben.

II. Künstliche Radioaktivität durch Protonen

Mit Protonen konnte in einer Reihe von Elementen künstliche Radioaktivität erzeugt werden, ohne daß sich jedoch Besonderheiten ergeben hätten.

8. *O.* Du Bridge u. a. (276, 277, 371) beobachteten bei Sauerstoff die Aktivitäten:

1. Mit der Halbwertszeit von $1{,}28 \pm 0{,}1$ min (276) bzw. 1,35 min (277):

$$^{16}_{8}O + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{17}_{9}F \qquad ^{17}_{9}F \rightarrow ^{17}_{8}O + e^{+}.$$

Der Prozeß setzte bei Protonen von $1{,}4 \cdot 10^6$ eV ein und stieg in der Ausbeute bei Protonenenergien von $2{,}5 \cdot 10^6$ eV stark an.

2. Mit der Halbwertszeit von 2,1 min (371). Die Aktivität ist mit Positronenemission verbunden und wahrscheinlich auf das Isotop $^{15}_{8}O$ zurückzuführen.

3. Mit der Halbwertszeit von 107 ± 4 min (276, 277, 371):

$$^{18}_{8}O + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{18}_{9}F + ^{1}_{0}n \qquad ^{18}_{9}F \rightarrow ^{18}_{8}O + e^{+}.$$

Das aktive Fluorisotop wurde chemisch nachgewiesen. Dieser Prozeß setzte bei Protonen von $2{,}6 \cdot 10^6$ eV ein und stieg bei $3{,}8 \cdot 10^6$ eV so steil an, daß die durch ihn bedingte Aktivität weitaus stärker war als die kürzere Aktivität.

Als Besonderheit trat hier auf, daß Ausgangs- und Endisotop identisch sind.

Barnes u. a. (278) und Du Bridge u. a. (371) beobachteten ferner bei:

12. *Mg* keine Aktivität des Magnesiums,

13. *Al* keine Aktivität des Aluminiums,

14. *Si* eine Aktivität des Siliziums,

16. *S* keine Aktivität des Schwefels,

17. *Cl* keine Aktivität des Chlors,

20. *Ca* eine Aktivität des Kalziums,

24. *Cr* eine Aktivität des Chroms von 40 min mit Positronenemission (371) über den Kern $^{53}_{25}Mn$;

25. *Mn* eine Aktivität des Mangans von 90 min gemäß:

$$^{55}_{25}Mn + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{55}_{26}Fe + ^{1}_{0}n \qquad ^{55}_{26}Fe \rightarrow ^{55}_{25}Mn + e^{+},$$

wobei das aktive Eisenisotop chemisch nachgewiesen wurde [Du Bridge (279)]. Ausgangs- und Endisotop wären wiederum identisch;

Barnes u. a. (280) gaben eine Periode von 1,13 min an.

26. *Fe* keine Aktivität des Eisens,

27. *Co* eine Aktivität des Kobalts, nach Messungen von Barnes u. a. (280) 14,3 min.

28. *Ni* eine Aktivität des Nickels:

1. von 3,2 h mit Positronenemission über $^{61}_{29}Cu$,
2. von 12 h mit Elektronenemission über $^{64}_{29}Cu$ (371),

29. *Cu* keine Aktivität des Kupfers,

30. *Zn* eine Aktivität des Zinks:

1. von 68 min mit Positronenemission über $^{68}_{31}Ga$,
2. von 18,2 min mit Elektronenemission über $^{70}_{31}Ga$ (371),

33. *As* eine Aktivität des Arsens von 105 min mit Positronenemission über $^{75}_{34}Se$ (371),

34. *Se* eine Aktivität des Selens:

1. von etwa 17 min (278) bzw. 18 min (371). Die Aktivität setzte in Einklang mit neueren Messungen von Buck u. a. (281) bei einer Protonenenergie von $2{,}3 \cdot 10^6$ eV ein und stieg bei einer Energie von $3{,}1 \cdot 10^6$ eV stark an,
2. von 4 h. Die Aktivität war mit Elektronenemission verbunden und dem Kern $^{80}_{35}Br$ zuzuordnen,
3. von 36 h. Diese Periode stammte vom Isotop $^{82}_{35}Br$ her und wurde von Elektronenemission begleitet,

42. *Mo* eine Aktivität des Molybdäns von 0,5 min und 31 min mit Elektronenemission. Als aktive Isotope kommen Masuriumisotope in Frage,

46. *Pd* eine Aktivität des Palladiums,

1. von 2,4 min mit Elektronenemission über $^{108}_{47}Ag$,
2. von 25 min mit Positronenemission über $^{106}_{47}Ag$ (371),

47. *Ag* keine Aktivität des Silbers,

78. *Cd* eine Aktivität des Kadmiums,

49. *In* eine Aktivität des Indiums von 14 min mit Positronenemission über $^{113}_{50}Sn$ (371),

50. *Sn* eine Aktivität des Zinns,

51. *Sb* eine Aktivität des Antimons,

78. *Pt* keine Aktivität des Platins und

82. *Pb* keine Aktivität des Bleis.

Überraschend ist das Ergebnis dieser Untersuchungen insofern, als die Protonen auch in schwere Kerne, also Kerne mit einem hohen Potentialwall, eindringen.

III. Künstliche Radioaktivität durch Deutonen

Die Deutonen sind in ihrer Bedeutung für die Erzeugung der künstlichen Radioaktivität weiterhin gestiegen und haben wesentlich dazu beigetragen, die Kenntnisse über das Wesen der Atomumwandlungen zu erweitern. In neueren Untersuchungen konnten wieder zahlreiche Elemente aktiviert werden.

3. *Li.* Der bisher angenommene aktive Prozeß des Lithiums:

$$^{7}_{3}Li + ^{2}_{1}D \rightarrow ^{8}_{3}Li + ^{1}_{1}H \qquad ^{8}_{3}Li \rightarrow ^{8}_{4}Be + e^{-}$$

war in bezug auf die Energiebilanz ungeklärt. Aus den Umwandlungsgleichungen und aus den Maßen ergab sich ein um etwa $1{,}5 \cdot 10^6$ eV größerer Wert für die obere Energiegrenze des

Elektronenspektrums als aus den Messungen. Es wurde deshalb vermutet, daß der entstehende Kern ${}^{8}_{4}Be$ diesen Energieunterschied als Anregungsenergie mit sich trägt und infolgedessen in 2 α-Teilchen zerfällt.

Nach den Untersuchungen von Bayley und Crane (282, 283) ergab sich die obere Grenze der Elektronen zu $12 \cdot 10^6$ eV. Da der aktive Prozeß zwischen 400 und 450 kV Deutonenenergie scharf einsetzt, mußte geschlossen werden, daß die entstehenden Protonen energiearm sind — $0{,}2 \cdot 10^6$ eV statt $4{,}3 \cdot 10^6$ eV wie bisher angegeben. Der errechnete Wert der oberen Energiegrenze ergab sich damit zu $14{,}5 \cdot 10^6$ eV. Die Anregungsenergie des ${}^{8}_{4}Be$-Kerns müßte demnach etwa $2{,}5 \cdot 10^6$ eV sein.

Fowler und Lauritsen (284) nahmen die Energieverteilung der auf dem Zerfall des ${}^{8}_{4}Be$-Kerns zurückgeführten α-Teilchen auf. Die Energieverteilung war kontinuierlich, hatte ein Maximum bei $1{,}3 \cdot 10^6$ eV mit einer Breite von $0{,}5 \cdot 10^6$ eV und nach dem Maximum einen starken Abfall bis $6 \cdot 10^6$ eV.

Rumbaugh, Roberts und Hafstad (285) kamen zu folgenden Ergebnissen:

1. Das Verhältnis der Zahl der α-Teilchen mit einer Reichweite über 6 mm zu der der Elektronen ist nahezu 1.
2. Die Anregungskurve für α-Teilchen und Elektronen ist die gleiche.
3. Die Halbwertszeit ergibt sich aus den α-Teilchen zu 0,85–0,1 s, aus den Elektronen zu 0,90–0,1 s.
4. Kommen die α-Teilchen von einem angeregten ${}^{8}_{4}Be$-Kern her, so müßten bei der Beschießung von ${}^{7}_{3}Li$ mit Protonen und von ${}^{6}_{3}Li$ mit Deutonen über den entstehenden Kern ${}^{8}_{4}Be$ auch α-Teilchen auftreten. In diesen beiden Prozessen wurden jedoch keine α-Teilchen beobachtet.

Aus diesen Feststellungen schlossen sie, daß der Kern ${}^{8}_{4}Be$ an dem aktiven *Li*-Prozeß unbeteiligt ist und setzten als Umwandlungsgleichung an:

$$ {}^{7}_{3}Li + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{8}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{8}_{3}Li \rightarrow {}^{4}_{2}\alpha + {}^{4}_{2}\alpha + e^{-}. $$

Anzeichen für eine γ-Strahlung konnten nicht gefunden werden.

5. *B.* Für die mit Elektronenemission verbundene, auf den Kern ${}^{12}_{5}B$ zurückzuführende Aktivität des *Bors* fanden Bayley und Crane (282, 283) die obere Grenze der Elektronenenergie zu $12 \cdot 10^6$ eV in Einklang mit bisherigen Werten. Die Anregung des aktiven Umwandlungsprozesses war noch bei Deutonenenergien von nur 300 kV nachweisbar.

6. *C.* Richardson (368) fand bei Kohlenstoff eine γ-Strahlung von ungefähr $0{,}5 \cdot 10^6$ eV, die als Vernichtungsstrahlung des in der Kohlenstoffaktivität emittierten Positrons anzusehen ist.

7. *N.* Die in dem aktiven Stickstoffprozeß entstehenden Neutronen bestehen nach Stephens u. a. (313) aus 2 Gruppen von $1{,}1 \cdot 10^6$ eV und $5{,}1 \cdot 10^6$ eV. Der aktive Sauerstoffkern ${}^{15}_{8}O$ hat also ein Anregungsniveau von $4 \cdot 10^6$ eV.

10. *Ne.* Snell (286) beobachtete bei Neon eine Aktivität der Halbwertszeit von 112 ± 4 min gemäß:

$$ {}^{20}_{10}Ne + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{18}_{9}F + {}^{4}_{2}\alpha \qquad {}^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + e^{+}. $$

Das aktive Fluorisotop konnte chemisch nachgewiesen werden.

Laslett (260) legte den Prozeß:

$$ {}^{21}_{10}Ne + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{22}_{11}Na + {}^{1}_{0}n $$

zugrunde.

11. *Na.* Richardson und Emo (287) maßen die mit dem aktiven Umwandlungsprozeß des Natriums verbundene γ-Strahlung durch den Kernphotoeffekt am Deuton aus der Reichweite der entstandenen Protonen zu $2{,}8 \cdot 10^6$ eV. Richardson (368) gab später 3 γ-Quanten von $1{,}01 \cdot 10^6$, $2{,}04 \cdot 10^6$ und $3{,}0 \cdot 10^6$ eV an.

12. *Mg.* Für die auf den Kern ${}^{22}_{11}Na$ zurückgehende Magnesiumaktivität maß Laslett (260) neuerdings die Halbwertszeit zu $3{,}0 \pm 0{,}2$ Jahren. Die obere Grenze der Positronenenergie betrug $0{,}58 \cdot 10^6$ eV.

Richardson (368) stellte fest, daß mit der 10,2-min-Periode eine γ-Strahlung von $0{,}88 \cdot 10^6$ eV verbunden ist. Diese muß einem Anregungszustand des Kerns ${}^{27}_{13}Al$ zugeschrieben werden, weil dieselbe γ-Strahlung ($1{,}0 \cdot 10^6$ eV) in dem inaktiven Prozeß:

$$ {}^{24}_{12}Mg + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{27}_{13}Al + {}^{1}_{1}H $$

entsteht und weil dieser inaktive und der zur 10,2-min-Periode führende aktive Prozeß nur den Kern ${}^{27}_{13}Al$ gemein haben.

14. *Si.* Newson (288) fand als Halbwertszeit der dem Kern ${}^{31}_{14}Si$ zugeordneten Aktivität des Siliziums 170 ± 10 min in Übereinstimmung mit bisherigen Daten. Die obere Grenze der Elektronenenergie ergab sich zu $1{,}50 \cdot 10^6$ eV entsprechend einer Reichweite von 2,51 mm in Aluminium.

15. *P.* Die Halbwertszeit der Phosphoraktivität von 14,5 d wird durch neuere Messungen von Newson (288) bestätigt. Die obere Grenze der Elektronenenergie beträgt $1{,}59 \pm 0{,}05 \cdot 10^6$ eV entsprechend einer Reichweite in Aluminium von 2,67 mm.

Eine γ-Strahlung konnte nicht beobachtet werden.

16. *S.* Sagane (289) fand bei Schwefel - 3 Perioden: 1) von $3{,}0 \pm 0{,}1$ min mit Positronenemission, aktives Isotop $^{30}_{15}P$; 2) 33 ± 1 min mit Positronenemission, aktives Isotop $^{32}_{17}Cl$; 3) $14 \pm 0{,}3$ d mit Elektronenemission, aktives Isotop $^{32}_{15}P$. Die aktiven Isotope wurden chemisch nachgewiesen. Die Energie der von $^{34}_{17}Cl$ stammenden Positronen hatte bei Extrapolation gemäß der K.U.-Theorie eine obere Grenze von $3 \cdot 10^6$ eV.

19. *K.* Für die Kaliumaktivität fanden Hurst und Walke (264) die Halbwertszeit von $12{,}4 \pm 0{,}2$ h und setzten als Umwandlungsgleichung:

$$^{41}_{19}K + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{42}_{19}K + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{42}_{19}K \rightarrow {}^{42}_{20}Ca + e^-$$

an.

Die Ausbeute beträgt $2 \cdot 10^7$ Deutonen/aktives Atom. Mit der Aktivität ist eine schwache γ-Strahlung verbunden.

20. *Ca.* Die Kalziumaktivität ist Gegenstand eingehender Untersuchungen von Walke (267, 290). Nach den Messungen von Aston sind die stabilen *Ca*-Isotope ^{40}Ca, ^{42}Ca, ^{43}Ca und ^{44}Ca mit den Häufigkeiten von 96,76 Proz., 0,77 Proz., 0,17 Proz. und 2,30 Proz.

Walke (267) trennte das bestrahlte Kalzium auf chemischen Wege in:

I. Den Kalziumteil.

Es zeigte sich eine schwache Aktivität von $2{,}4 \pm 0{,}2$ h mit einer Ausbeute von etwa 10^{-9} aktiven Atomen pro Deuton und mit einer oberen Grenze der Elektronenenergie von $1{,}9 \cdot 10^6$ eV.

Als Umwandlungsprozeß hatte:

$$^{44}_{20}Ca + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{45}_{20}Ca + {}^{1}_{1}H$$
$$^{45}_{20}Ca \rightarrow {}^{45}_{21}Sc + e^-$$

zu gelten, weil $^{45}_{21}Sc$ das einzige bekannte stabile Skandiumisotop ist.

Anzeichen für einen von dem häufigsten Kalziumisotop $^{40}_{20}Ca$ ausgehenden Prozeß konnten nicht gefunden werden.

II. Den Skandiumteil.

Hier zeigten sich drei Perioden von:

53 ± 3 min mit einer Ausbeute von $5{,}4 \cdot 10^7$ Deutonen pro aktives Atom und mit einer oberen Grenze der Positronenenergie von $1{,}8 \cdot 10^6$ eV.

$4{,}0 \pm 0{,}1$ h mit einer Ausbeute von $3{,}6 \cdot 10^7$ Deutonen pro aktives Atom und mit einer oberen Grenze der Positronenenergie von $1{,}4 \cdot 10^6$ eV, und

52 ± 2 h mit einer Ausbeute von $3{,}0 \cdot 10^8$ Deutonen pro aktives Atom.

Als Umwandlungsprozesse kommen

$$^{40,42,43}_{20}Ca + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{41,43,44}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n$$

in Frage.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse bei Beschießung von Kalium mit α-Teilchen muß

dem Kern $^{41}_{21}Sc$ die Periode von 53 min,
dem Kern $^{43}_{21}Sc$ die Periode von 4 h und
dem Kern $^{44}_{21}Sc$ die Periode von 52 h

zugeordnet werden.

Es ist zu vermuten, daß der Kern $^{41}_{21}Sc$ über:

$$^{41}_{21}Sc \rightarrow {}^{41}_{20}Ca + e^+$$
$$^{41}_{20}Ca \rightarrow {}^{41}_{19}K + e^+$$

zerfällt. Damit müßte jedoch in dem Skandiumteil ein aktives Kalziumisotop auftreten, was aber nicht nachgewiesen werden konnte.

III. Den Kaliumteil.

Hier wurde eine schwache Aktivität von 10,5 h gefunden. Henderson u. a. (265) identifizierten diese Aktivität mit der von ihnen beobachteten Aktivität von 12,2 h und schrieben sie dem Prozeß:

$$^{44}_{20}Ca + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{42}_{19}K + {}^{4}_{2}\alpha$$

zu.

Hurst und Walke (264) fanden eine weitere Aktivität von $7{,}6 \pm 0{,}2$ min, die sie dem Prozeß:

$$^{40}_{20}Ca + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{38}_{19}K + {}^{4}_{2}\alpha$$
$$^{38}_{19}K \rightarrow {}^{38}_{18}A + e^+ ,$$

den Walke (267) für die von ihm beobachtete Periode von 10,5 h angesetzt hatte, zuordneten.

21. *Sc.* Die erst in neueren Untersuchungen gefundene Skandiumaktivität hatte eine Halbwertszeit von 80 bzw. 85 ± 2 d Walke (309, 312). Die Aktivität war dem Prozeß:

$$^{45}_{21}Sc + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{46}_{21}Sc + {}^{1}_{1}H$$
$$^{46}_{21}Sc \rightarrow {}^{46}_{22}Ti + e^-$$

zuzuschreiben.

Die Ausbeute betrug $9 \cdot 10^7$ Deutonen pro aktives Atom, die obere Grenze der Elektronenenergie $0{,}87 \cdot 10^6$ eV.

22. *Ti.* Walke (269, 311, 312) konnte durch eingehende Untersuchungen folgenden Tatbestand bei der Aktivierung von Titan sicherstellen:

1. Eine Periode von $2{,}8 \pm 0{,}1$ min:

$$^{50}_{22}Ti + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{51}_{22}Ti + {}^{1}_{1}H$$
$$^{51}_{22}Ti \rightarrow {}^{51}_{23}V + e^{-} .$$

Diese Periode wurde von einer γ-Strahlung begleitet.

2. Eine Periode von 33 ± 1 min:

$$^{48}_{22}Ti + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{49}_{23}V + {}^{1}_{0}n$$
$$^{49}_{23}V \rightarrow {}^{49}_{22}Ti + e^{+}$$

Das aktive Vanadiumisotop wurde chemisch nachgewiesen. Die obere Grenze der Positronenenergie lag bei $1{,}9 \cdot 10^{6}$ eV.

3. Eine Periode von $3{,}7 \pm 0{,}2$ h:

$$^{49}_{22}Ti + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{50}_{23}V + {}^{1}_{0}n$$
$$^{50}_{23}V \rightarrow {}^{50}_{22}Ti + e^{+}$$

Das aktive Vanadiumisotop wurde ebenfalls chemisch nachgewiesen.

4. Eine Periode von 50 h:

$$^{46}_{22}Ti + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{44}_{21}Sc + {}^{4}_{2}\alpha$$
$$^{44}_{21}Sc \rightarrow {}^{44}_{20}Ca + e^{+}$$

5. Eine Periode von 16 ± 2 d:

$$^{47}_{22}Ti + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{48}_{23}V + {}^{1}_{0}n$$
$$^{48}_{23}V \rightarrow {}^{48}_{22}Ti + e^{+}$$

Das aktive Vanadiumisotop wurde chemisch nachgewiesen. Die obere Grenze der Positronenenergie lag bei $1{,}1 \cdot 10^{6}$ eV.

Mit der Aktivität war – in Einklang mit Ergebnissen von Richardson (368) – eine γ-Strahlung von $0{,}5 \cdot 10^{6}$ eV und $1{,}0 \cdot 10^{6}$ eV verbunden. Die energieärmere Strahlung kann als Vernichtungsstrahlung des Positrons angesehen werden, während die Erklärung für die Entstehung der energiereicheren Strahlung aussteht. In der energiereichen Strahlung wurden fast doppelt soviel Quanten emittiert wie in der energiearmen, d. h. auf ein emittiertes Positron entfielen 4 γ-Quanten von $1 \cdot 10^{6}$ eV.

Titan ist, auch wegen der langen Halbwertszeit, eine sehr geeignete γ-Quelle.

6. Eine Periode von 85 ± 5 d:

$$^{45}_{22}Ti + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{46}_{21}Sc + {}^{4}_{2}\alpha$$
$$^{46}_{21}Sc \rightarrow {}^{46}_{22}Ti + e^{-} .$$

Als relative Wirkungsquerschnitte für die verschiedenen Aktivitäten (Produkt aus Ausbeute und Häufigkeit der Isotope) ergaben sich:

für die 2,8-min-Periode $2{,}8 \cdot 10^{7}$,
für die 33 -min-Periode $2{,}1 \cdot 10^{9}$,
für die 3,7-h-Periode $1{,}7 \cdot 10^{8}$,
für die 50 -h-Periode $1{,}9 \cdot 10^{9}$,
für die 16 -d-Periode $4{,}0 \cdot 10^{6}$ und
für die 85 -d-Periode $1{,}4 \cdot 10^{10}$.

23. *V.* Walke (311) beobachtete bei Vanadium eine mit Elektronen und γ-Quanten verbundene Aktivität von $3{,}9 \pm {,}01$ min Halbwertszeit gemäß:

$$^{51}_{23}V + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{52}_{23}V + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{52}_{23}V \rightarrow {}^{52}_{24}Cr + e^{-} .$$

24. *Cr.* Livingood, Fairbrother und Seaborg (291) beobachteten bei Chrom eine zur Positronenemission führende Aktivität von 46 min, die durch ein aktives Manganisotop hervorgerufen wurde. Walke (311) bestätigte diese und andere, noch unveröffentlichte Ergebnisse und fand eine weitere Periode von $16{,}0 \pm 0{,}3$ d gemäß:

$$^{50}_{24}Cr + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{48}_{23}V + {}^{4}_{2}\alpha \qquad {}^{48}_{23}V \rightarrow {}^{48}_{22}Ti + e^{+} .$$

26. *Fe.* Eine Aktivität des Eisens ist von Darling, Curtis und Cork (292) und von Livingood u. a. (291) beobachtet worden. Letztere zerlegten aktiviertes Eisen chemisch in:

I. den Eisenteil.

Hier zeigte sich eine Aktivität von 40 d mit Elektronenemission.

II. Den Kobaltteil.

Es traten hier drei Perioden von: kurzer Halbwertszeit mit Emission von Positronen, 18-h Halbwertszeit mit Emission von Positronen und 100–200-d-Halbwertszeit mit Emission von Positronen und Elektronen auf.

Auch in den Untersuchungen von Darling u. a. (292) trat eine Periode von 18,2 h auf und wurde einem Kobaltisotop zugeordnet.

III. Den Manganteil.

Hier zeigten sich die Perioden von: mehreren Monaten mit Elektronenemission, 5 d mit Positronenemission, 2,5 h mit Elektronenemission und 21 min.

Die 21-min-Periode wurde von Darling u. a. (292) ebenfalls beobachtet.

Die Aktivität der 2,5-h-Periode war stark, auch bei sehr reinem Eisen.

28. *Ni.* Thornton (293) maß in Übereinstimmung mit dem früheren Wert die Halbwertszeit der Nickelaktivität zu $3{,}4 \pm 0{,}1$ h. Da ein Kupferisotop als aktiver Bestandteil des Umwandlungsprozesses chemisch festgestellt wurde, gilt als Umwandlungsprozeß:

$$^{n}_{28}Ni + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{n+1}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{n+1}_{29}Cu \rightarrow {}^{n+1}_{28}Ni + e^{+} .$$

Die obere Grenze der Positronenenergie lag bei $0{,}9 \cdot 10^{6}$ eV.

29. *Cu.* Richardson (368) fand bei der 12,8-h-Periode des Kupfers die γ-Strahlung von $0{,}5 \cdot 10^6$ eV, die als Vernichtungsstrahlung gedeutet werden konnte. Außerdem fanden sich Anzeichen für die Vernichtungsstrahlung sich bewegender Positronen.

Thornton (370) fand eine neue Kupferaktivität mit der Halbwertszeit von 65 min.

30. *Zn.* Thornton (370) fand mit den Perioden von 1 h, 14 h und 4 d drei bereits bekannte Aktivitäten, während die Periode von 30 d bisher unbekannt war. Die Zuordnung der Aktivitäten zu den aktiven Isotopen geschah in anderer Weise als bisher: die 1-h-Periode gehört zu $^{65}_{30}Zn$, die 14-h-Periode zu $^{69}_{30}Zn$ und entweder die 4-d- oder die 30-d-Periode zu $^{71}_{30}Zn$.

31. *Ga.* Thornton (370) beobachtete bei Gallium neuerdings neben anderen Perioden eine solche von 14 h.

34. *Se.* Snell (294, 310) beobachtete bei Selen folgende Akivitäten:

1. Die Periode von $6{,}2 \pm 0{,}2$ min gemäß:

$$^{77}_{34}Se + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{78}_{35}Br + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{78}_{35}Br \rightarrow {}^{78}_{34}Se + e^+$$

mit der oberen Grenze der Positronenenergie von $2{,}3 \cdot 10^6$ eV.

2. Die Periode von 57 min gemäß:

$$^{78}_{34}Se + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{79}_{34}Se + {}^{1}_{1}H .$$

3. Die Periode von $2{,}45 \pm 0{,}1$ h gemäß:

$$^{82}_{34}Se + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{83}_{34}Se + {}^{1}_{1}H$$

(17 min) $^{83}_{34}Se \rightarrow {}^{83}_{35}Br + e^-$

2,5 std $^{83}_{35}Br \rightarrow {}^{83}_{36}Kr + e^-$.

Die obere Grenze der Elektronenenergie lag bei $1{,}3 \cdot 10^6$ eV.

4. Die Periode von 34 h gemäß:

$$^{82}_{34}Se + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{82}_{35}Br + 2 \cdot {}^{1}_{0}n$$

$$^{82}_{35}Br \rightarrow {}^{82}_{36}Kr + e^-.$$

Die obere Grenze der Elektronenenergie betrug $0{,}4 \cdot 10^6$ eV.

35. *Br.* Snell (310) beobachtete bei Brom:

1. Die mit einer γ-Strahlung von weniger als $0{,}5 \cdot 10^6$ eV verbundene Periode von $18{,}5 \pm 0{,}5$ min. Die emittierten Elektronen hatten eine obere Energiegrenze von $2{,}2 \cdot 10^6$ eV.
2. Die Periode von $4{,}54 \pm 0{,}10$ h, deren Elektronen eine obere Energiegrenze von $2{,}0 \cdot 10^6$ eV hatten. Die beiden Perioden wurden auf den isomeren Kern $^{80}_{35}Br$ zurückgeführt:

$$^{79}_{35}Br + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{80}_{35}Br + {}^{1}_{1}H$$

$$^{80}_{35}Br \rightarrow {}^{80}_{36}Kr + e^-.$$

3. Die von einer γ-Strahlung von $0{,}65 \cdot 10^6$ eV begleitete Periode von $33{,}9 \pm 0{,}3$ h:

$$^{81}_{35}Br + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{82}_{35}Br + {}^{1}_{1}H$$

$$^{82}_{35}Br \rightarrow {}^{82}_{36}Kr + e^-.$$

Die obere Grenze des Elektronenspektrums ist $0{,}4 \cdot 10^6$ eV.

36. *Kr.* Krypton hat entsprechend den Untersuchungen von Snell (310) folgende Aktivität:

1. Mit der Halbwertszeit von 74 ± 2 min.
2. Mit der Halbwertszeit von $4{,}5 \pm 0{,}1$ h. $1 + 2$ müssen entweder auf das Isotop $^{85}_{36}Kr$ oder $^{87}_{36}Kr$ zurückgeführt werden.
3. Mit der Halbwertszeit von 18 ± 2 h:

$$^{78,80}_{36}Kr + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{79,81}_{36}Kr + {}^{1}_{1}H .$$

38. *Sr.* Stewart, Lawson und Cork (315) fanden bei der Aktivierung von Strontium folgende Ergebnisse:

1. Die Periode von $3{,}0 \pm 0{,}1$ h mit der oberen Grenze des Elektronenspektrums von $0{,}61 \cdot 10^6$ eV.
2. Die Periode von 55 ± 5 d mit der oberen Grenze des Elektronenspektrums von $1{,}9 \cdot 10^6$ eV.

Beide Perioden wurden auf den isomeren Kern $^{89}_{38}Sr$ zurückgeführt:

$$^{88}_{38}Sr + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{89}_{38}Sr + {}^{1}_{1}H$$

$$^{89}_{38}Sr \rightarrow {}^{89}_{39}Y + e^-.$$

Die Anfangsintensitäten dieser beiden Perioden verhielten sich: 3 h : 55 d = 1 : 94 bis 1 : 130.

3. Die Periode von 120 ± 4 min:

$$^{87}_{38}Sr + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{88}_{39}Y + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{88}_{39}Y \rightarrow {}^{88}_{38}Sr + e^+.$$

Die obere Grenze des Positronenspektrums lag bei $1{,}2 \cdot 10^6$ eV.

4. Die Periode von 60,5 h:

$$^{88}_{38}Sr + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{90}_{39}Y \qquad {}^{90}_{39}Y \rightarrow {}^{90}_{40}Zr + e^-.$$

Hier würde also der seltene Fall eintreten, daß das Deuton eingefangen wird.

Das Elektronenspektrum hat eine obere Grenze von $2{,}6 \cdot 10^6$ eV.

5. Mehrere mit Elektronen verbundene Aktivitäten größerer Halbwertszeit, die jedoch nicht festgelegt wurden.

39. *Y.* Stewart u. a. (315) fanden bei Yttrium eine starke Aktivität von $60{,}5 \pm 2$ h Halbwertszeit entsprechend

$$^{89}_{39}Y + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{90}_{39}Y + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{90}_{39}Y \rightarrow {}^{90}_{40}Zr + e^-.$$

42. *Mo.* Perrier und Segrè (295) und Cacciapuoti und Segrè (314) untersuchten von Lawrence aktiviertes Molybdän und fanden die Perioden von 50 d, 80 d und 90 d. Gemäß chemischer Untersuchungen wird zumindest ein aktives Isotop ein Masuriumisotop sein. Mit der Molybdänaktivität war eine Elektronenemission und γ-Strahlung verbunden.

46. *Pd.* Nach den neueren Untersuchungen von Pool u. a. (275), Kraus und Cork (316) und Pool (362) lagen bei der Aktivierung von Palladium folgende Verhältnisse vor:

1. Es trat eine mit Positronenemission verbundene Periode von 25,5 min (275), 26 min (316) bzw. 24,5 min (362) auf. Ihr aktiver Bestandteil war chemisch als Silberisotop erkannt worden.
2. Auf ein aktives Silberisotop mußte auch die von Elektronenemission begleitete Periode von 192 h (275), 180 h (316) bzw. 197 h (362) zurückgeführt werden. Beide Perioden wurden dem isomeren Kern $^{106}_{47}Ag$ zugeordnet:

$$^{105}_{46}Pd + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{106}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n$$

$$^{106}_{47}Ag \rightarrow {}^{106}_{46}Pd + e^{+} \quad (25\ \text{min})$$

$$\searrow\ {}^{106}_{48}Cd + e^{-} \quad (180\ \text{h}).$$

Die mit der 25-min-Aktivität emittierten Positronen hatten eine obere Energiegrenze von $2{,}24 \cdot 10^{6}$ eV (316) bzw. $1{,}9 \cdot 10^{6}$ eV (362). Die Anfangsintensität der 25-min-Periode verhielt sich zu der 180-h-Periode wie 60 : 1.

3. Ferner trat eine mit Elektronenemission verbundene Periode von 17 min auf. Nach chemischen Untersuchungen mußte es sich um ein aktives Palladiumisotop handeln. Als Umwandlungsprozeß war also anzusetzen:

$$^{110}_{46}Pd + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{111}_{46}Pd + {}^{1}_{1}H$$

$$^{111}_{46}Pd \rightarrow {}^{111}_{47}Ag + e^{-}.$$

Diese einzig mögliche Erklärung stößt auf die Schwierigkeit, daß das Isotop $^{111}_{47}Ag$ als stabiles Isotop nicht bekannt ist. Sollte es instabil sein, so müßte der Umwandlungsprozeß durch $^{111}_{47}Ag \rightarrow {}^{111}_{48}Cd + e^{-}$ ergänzt werden.

4. Kraus u. a. (316) fanden schließlich noch eine Periode von 13 h, die dem Prozeß:

$$^{108}_{46}Pd + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{109}_{46}Pd + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{109}_{46}Pd \rightarrow {}^{109}_{47}Ag + e^{-}$$

auf Grund chemischer Untersuchungen zugeordnet werden mußte. Die obere Grenze der Elektronenenergie lag bei $1{,}08 \cdot 10^{6}$ eV.

48. *Cd.* Cork und Thornton (296) fanden bei Kadmium drei Perioden von 2,3 h, 4,3 h und 58 h, für deren Entstehung gemäß chemischer Untersuchungen folgende Prozesse anzunehmen sind:

$$^{114}_{48}Cd + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{115}_{48}Cd + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{115}_{48}Cd \rightarrow {}^{115}_{49}In + e^{-} \qquad 4{,}3\ \text{h}$$

$$^{116}_{48}Cd + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{117}_{48}Cd + {}^{1}_{1}H$$

$$^{117}_{48}Cd \rightarrow {}^{117}_{49}In + e^{-} \qquad 58\ \text{h}$$

$$^{117}_{49}In \rightarrow {}^{117}_{50}Sn + e^{-} \qquad 2{,}3\ \text{h}.$$

Lawson und Cork (317) beobachteten eine mit Positronenemission verbundene Periode von 20 min, für die als aktiver Bestandteil das Isotop $^{111}_{49}In$ vermutet wurde. Das Positronenspektrum hatte eine obere Grenze von $1{,}75 \cdot 10^{6}$ eV.

49. *In.* Lawson und Cork (317) beobachteten bei Indium drei Perioden von 13 s, 54 min und 4,1 h. Letztere war von geringer Intensität. Die beiden ersteren Perioden wurden dem Kern $^{116}_{49}In$, die lange Periode dem Kern $^{114}_{49}In$ zugeordnet. Die 2,3-h-Periode schrieben sie ebenfalls dem Kern $^{117}_{49}In$ zu, die 4,1-h-Periode dagegen dem Kern $^{114}_{49}In$.

50. *Sn.* Livingood und Seaborg (297) beobachteten eine weitere Periode von 16 min bei der Aktivierung von Zinn, die sie dem Prozeß:

$$^{119}_{50}Sn + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{120}_{51}Sb + {}^{1}_{0}n$$

zuschrieben.

Eine Periode von 12 min war früher schon gefunden worden, wurde aber damals mit der 10,3-min-Periode des Stickstoffkerns $^{13}_{7}N$ identifiziert und auf Verunreinigungen des Zinns zurückgeführt.

51. *Sb.* Livingood u. a. (297) fanden bei Antimon neben der bereits bekannten Periode von 60 d eine neue mit Elektronenemission verbundene Aktivität von 2,5 d, für die als aktiver Bestandteil ein Antimonisotop chemisch festgestellt wurde.

56. *Ba.* Bei Barium beobachteten Pool und Cork (298) eine starke Aktivität von 85,6 min Halbwertszeit. Chemisch wurde ein aktives Bariumisotop, wahrscheinlich $^{139}_{56}Ba$, nachgewiesen. Die Aktivität ist mit Elektronenemission verbunden.

57. *La.* Lanthan hatte nach den Messungen von Pool und Cork (298) eine mit Elektronenemission verbundene Aktivität von 31 h, für die wahrscheinlich $^{140}_{57}La$ verantwortlich zu machen war.

58. *Ce.* Pool und Cork (298) fanden bei Zer eine Periode von 2,4 h.

Schlußbetrachtung zur künstlichen Radioaktivität durch Deutonen

1. Nach Bethe (299) wurde bei der Beschießung der schwersten Kerne (Atomgewicht etwa 200) durch Deutonen entweder ein Neutron oder, mit geringer Wahrscheinlichkeit, ein Proton ausgesandt. Dabei ist die dem Restkern verbleibende Anregungsenergie größer bei Emission eines Neutrons als bei der eines Protons.

Da die schwersten Kerne an sich schon instabil sind, kann der nach Emission eines Neutrons oder Protons verbleibende Restkern infolge seiner Anregung α-Teilchen emittieren, und zwar mit um so größerer Wahrscheinlichkeit, je höher die Anregung ist. Das heißt, der Restkern zerfällt nach vorangegangener Emission eines Neutrons in der Regel unter α-Emission, bei vorangegangener Emission eines Protons jedoch nur gelegentlich unter α-Emission.

Die Umwandlungsmöglichkeiten der schwersten Kerne sind nach ihrer Wahrscheinlichkeit geordnet:

$$1.\quad {}^{A}_{Z}X + {}^{2}_{1}D \rightarrow {}^{A+1}_{Z}X + {}^{1}_{1}H$$
$$2.\quad \rightarrow {}^{A-3}_{Z-1}X + {}^{4}_{2}\alpha + {}^{1}_{0}n$$
$$3.\quad \rightarrow {}^{A-3}_{Z-2}X + {}^{4}_{2}\alpha + {}^{1}_{1}H$$
$$4.\quad \rightarrow {}^{A+1}_{Z+1}X + {}^{1}_{0}n\,.$$

2. Williams, Shephard und Haxby (300) maßen zum Nachweis des ${}^{6}_{2}He$-Teilchen die Zahl der bei Beschießung von Lithium emittierten Teilchen als Funktion der Dicke der Absorptionsschicht, fanden aber nur eine Teilchengruppe. Sie nahmen daher an, daß ${}^{6}_{2}He$ kurze Zeit nach seiner Entstehung wieder zerfällt.

IV. Künstliche Radioaktivität durch Neutronen

Nachdem fast sämtliche Elemente durch Neutronen aktiviert werden konnten, haben sich die neueren Untersuchungen eingehender mit den einzelnen Aktivitäten der Elemente befaßt und eine Reihe wesentlicher Ergebnisse gezeitigt.

3. *Li.* Für die Lithiumaktivität beobachteten Veldkamp und Knol (301) und Nahmias und Walen (302) in Einklang mit früheren Ergebnissen eine Halbwertszeit von $0{,}8 \pm 0{,}2$ s bzw. $0{,}71 \pm 0{,}07$ s. Die Aktivität konnte durch Abbremsung der Neutronen um den Faktor 3–4 verstärkt werden.

Früher wurde die Aktivität auf den Kern ${}^{8}_{3}Li$ zurückgeführt. Nach Nahmias u. a. (302) ist jedoch auch folgender Prozeß möglich:

$${}^{6}_{3}Li + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{6}_{2}He + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{6}_{2}He \rightarrow {}^{6}_{3}Li + e^{-}.$$

4. *Be.* Nahmias u. a. (302) führten die bereits bekannte Aktivität von $0{,}8 \pm 0{,}04$ s Halbwertszeit entsprechend den Untersuchungen an Lithium auf den Prozeß:

$${}^{9}_{4}Be + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{6}_{2}He + {}^{4}_{2}\alpha \qquad {}^{6}_{2}He \rightarrow {}^{6}_{3}Li + e^{-}$$

zurück.

Die obere Grenze der Elektronenenergie betrug $3{,}5 \cdot 10^{6}$ eV.

5. *B.* Die Halbwertszeit der Boraktivität wurde von Nahmias u. a. (302) zu $1{,}0 \pm 0{,}25$ s bestimmt und stand in Einklang mit früheren Beobachtungen. Für die Aktivität wurde der Kern ${}^{8}_{3}Li$ verantwortlich gemacht.

6. *C.* Pool, Cork und Thornton (303) fanden bei Kohlenstoff eine sehr schwache Aktivität von 20 min, die mit Positronenemission verbunden war. Sie wurde dem Kern ${}^{11}_{6}C$ zugeschrieben.

Eine Aktivität mit einer Halbwertszeit von 1 s war nach Nahmias u. a. (302) nicht vorhanden.

7. *N.* Stickstoff hat nach den Untersuchungen von Pool u. a. (303) eine Aktivität von 10,5 min Halbwertszeit. Sie war sehr schwach, mit Positronenemission verbunden und dem Kern ${}^{13}_{7}N$ zugeordnet.

Früher wurde ebenso wie von Burcham und Goldhaber (234e) eine lange Aktivität beobachtet, die auf das Kohlenstoffisotop ${}^{14}_{6}C$ zurückgeführt wurde. Nahmias u. a. (302) suchten jedoch vergeblich auf chemischem Wege nach diesem Isotop.

Ebenso war eine Periode von etwa 1 s von letzteren nicht nachweisbar.

8. *O.* Chang, Goldhaber und Sagane (304) beobachteten bei Sauerstoff eine Periode von 8 s, die sie dem früher als Umwandlungsmöglichkeit angegebenen Prozeß mit dem aktiven Kern ${}^{16}_{7}N$ zuordneten.

Pool u. a. (303) fanden eine weitere, sehr schwache, mit Positronenemission verbundene, dem Kern ${}^{15}_{8}O$ zuzuschreibende Aktivität von 2,1 min.

Sauerstoff hatte nach den Versuchen von Nahmias und Walen (302) keine Aktivität von etwa 1 s.

9. *F.* Nahmias und Walen (302) bestätigten die früher von ihnen über die Fluoraktivität erhaltenen Versuchsergebnisse.

Pool u. a. (305, 303) fanden mit schnellen Neutronen zwei bisher unbekannte Aktivitäten von 108 min und 1,2 min.

Die längere Periode wurde dem Prozeß:

$${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{18}_{9}F + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{18}_{9}F \rightarrow {}^{18}_{8}O + e^{+}$$

die kürzere dem Prozeß:

$${}^{19}_{9}F + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{17}_{9}F + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n \qquad {}^{17}_{9}F \rightarrow {}^{17}_{8}O + e^{+}$$

zugeschrieben.

Ein Umwandlungsprozeß von der Form $(n, 3n)$, wie ihn der letzte aktive Fluorprozeß darstellt, wurde bisher noch nicht beobachtet. Mit größerer Sicherheit ist ein derartiger Prozeß beim Skandium nachgewiesen worden.

10. *Ne.* Snell (286) maß die Halbwertszeit der Neonaktivität zu 112 ± 4 min und die obere Grenze der Positronenenergie zu $0{,}5 \cdot 10^6$ eV. Die Aktivität war wahrscheinlich auf den Kern ${}^{18}_{9}F$ zurückzuführen.

Bjerge (306) fand eine weitere Periode von 40 s.

11. *Na.* Nahmias und Walen (302) fanden ihre früheren Untersuchungen (225) über die Natriumaktivität bestätigt. Die Halbwertszeit des Prozesses:

$${}^{23}_{11}Na + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{23}_{10}Ne + {}^{1}_{1}H \qquad {}^{23}_{10}Ne \rightarrow {}^{23}_{11}Na + e^-$$

wurde von Kurie, Richardson und Paxton (188) zu 40 s, von Bjerge (306) zu 35–40 s gemessen, die des Prozesses:

$${}^{23}_{11}Na + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{24}_{11}Na \qquad {}^{24}_{11}Na \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + e^-$$

von ersteren (188) zu 14,8 h.

Für die obere Energiegrenze der im zweiten Prozeß emittierten Elektronen gaben Kurie u. a. (188) $1{,}7 \cdot 10^6$ eV an. Die mit dem zweiten Prozeß verbundene γ-Strahlung bestand nach Richardson und Kurie (180, 233) aus den drei Quanten von 0,95, 1,93 und $3{,}08 \cdot 10^6$ eV.

12. *Mg.* Die bekannten Magnesiumaktivitäten von 40 s, 10 min und 14,8 h wurden von Henderson bestätigt. In neueren Untersuchungen von Nahmias u. a. (302) wurden sie zu 33 s – Bjerge (306) versuchte vergeblich, diese Periode nachzuweisen –, von Pool u. a. (303) und Booth und Hurst (307) zu 15 h gemessen.

Nach Nahmias u. a. (302) hatte Magnesium keine Aktivität von etwa 1 s Halbwertszeit.

Die Elektronen der 10-min-Periode hatten nach Henderson eine obere Energiegrenze von $2 \cdot 10^6$ eV, die der 14,8-h-Periode nach Kurie u. a. (188) eine solche von $1{,}7 \cdot 10^6$ eV.

Die mit der 10-min-Periode verbundene γ-Strahlung wurde von Henderson zu $1{,}3 \cdot 10^6$ eV angegeben. Die γ-Strahlung der 14,8-h-Periode bestand nach Richardson (180, 233) aus drei Quanten von 0,95, 1,93 und $3{,}08 \cdot 10^6$ eV.

13. *Al.* In Übereinstimmung mit früheren Messungen ergaben sich die Halbwertszeiten der Aluminiumaktivität in den Untersuchungen von Pool u. a. (303) und Booth und Hurst (307) zu 10 min und 15 h, in denen von Reddemann (360) zu 2,3 min.

De la Cierva (234a) untersuchte die Aktivierung des Aluminiums bei Verwendung verschiedener Neutronenquellen. Bei der Neutronenquelle $(Ra\text{-}Em + Be)$ war die auf den Kern ${}^{27}_{12}Mg$ zurückzuführende Aktivität doppelt so groß wie die, die dem Kern ${}^{24}_{11}Na$ zugeordnet wird. Bei der Neutronenquelle $(RaSO_4 + Be)$ war das Verhältnis dieser beiden Aktivitäten 3 : 2. Bei den Neutronenquellen $(Ra\text{-}Em + Mg)$ und $(Ra\text{-}Em + Li)$ zeigte sich keine mit obengenannten Kernen verbundene Aktivität. Nach den Messungen von Nahmias und Walen (302) war bei Aluminium eine Aktivität mit einer Halbwertszeit von etwa 1 s nicht vorhanden.

14. *Si.* Booth und Hurst (307) bestätigten den Wert von 2,3 min für die auf den Kern ${}^{28}_{13}Al$ zurückgeführte Siliziumaktivität. Zwei weitere, sehr schwache Perioden von 6 min und 11 min wurden von Pool u. a. (303) festgestellt. Die kurze Periode wurde dem Kern ${}^{27}_{14}Si$ zugeordnet und war, ebenso wie die lange Periode, mit Positronenemission verbunden.

Nahmias und Walen (302) wiesen nach, daß bei Silizium eine Periode von etwa 1 s nicht vorhanden ist.

15. *P.* Bei Phosphor war früher eine Aktivität mit 3 min Halbwertszeit gefunden worden. Nach neueren Untersuchungen von Pool u. a. (303) ist sie sehr stark, mit Positronenemission verbunden und auf das Isotop ${}^{30}_{15}P$ zurückzuführen.

Die Halbwertszeit der zweiten Phosphoraktivität wurde in Übereinstimmung mit den bisherigen Daten zu 2,5 h (303) gemessen.

16. *S.* Die Halbwertszeit der bekannten Schwefelaktivität wurde in neueren Untersuchungen von Sagane (289), Pool u. a. (303) und Booth und Hurst (307) ebenfalls zu 14 d bestimmt.

Pool u. a. (303) fanden außerdem eine schwache, mit Positronenemission verlaufende Periode von 26 min, für die der Kern ${}^{31}_{16}S$ verantwortlich gemacht wurde. Eine dritte Aktivität wurde von Sagane (289) beobachtet; sie hatte bei Emission von Elektronen eine Halbwertszeit von $2{,}6 \pm 0{,}2$ h.

Die Bildung des Kernes ${}^{35}_{16}S$, der nach Anderson mit einer Halbwertszeit von etwa 80 d zerfallen sollte, konnte nicht festgestellt werden.

17. *Cl.* Pool u. a. (303) bestätigten die Halbwertszeiten zweier bereits bekannter Chloraktivitäten mit 33 min und 14 d. Als aktiver Bestandteil der kurzen Periode nahmen sie jedoch nicht wie bisher den Kern ${}^{36}_{17}Cl$, sondern ${}^{34}_{17}Cl$ an. Das aktive Chlorisotop wurde von ihnen chemisch nachgewiesen.

Libby u. a. fanden früher bei der Beschießung von Chlor aktives Argon, so daß sie annahmen, daß das gebildete, aktive Chlorisotop in ein aktives Argonisotop, dieses in ein stabiles

Schwefelisotop übergehen würde. Roaf (318) konnte jedoch neuerdings die Entstehung des aktiven Argons nicht beobachten.

Durch Nahmias und Walen (302) war eine Aktivität von etwa 1 s nicht nachweisbar.

19. *K*. Pool u. a. (303) fanden bei Kalium drei Aktivitäten:

1. Eine starke, mit Elektronenemission verbundene Periode von 4 min.
2. Eine starke, mit Positronenemission verbundene und auf den Kern $^{38}_{19}K$ zurückzuführende Periode von 7,5 min.
3. Eine schwache, mit Elektronenemission verbundene und auf den Kern $^{41}_{18}A$ zurückzuführende Periode von 1,8 h.

Hurst und Walke (264) beobachteten mit schnellen Neutronen ebenfalls die Periode von 1,8 h, die sie auch auf $^{42}_{18}A$ zurückführten. Weiterhin zeigten sich zwei Perioden von 37,5 min — als aktiver Bestandteil wurde ein Chlorisotop chemisch sichergestellt — und von 12,4 h. Für letztere Periode wurde der Kern $^{42}_{19}K$ verantwortlich gemacht. Die Periode von 12,4 h trat auch bei Verwendung langsamer Neutronen auf, so daß in Übereinstimmung mit der bisherigen Vermutung für diese Kaliumaktivität der Umwandlungsprozeß:

$$^{41}_{19}K + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{42}_{19}K$$
$$^{42}_{19}K \rightarrow {}^{42}_{20}Ca + e^{-}$$

angesetzt wurde.

Eine Aktivität von 1 s ist, wie es Versuche von Nahmias und Walen (302) zeigten, nicht vorhanden.

20. *Ca*. Pool u. a. (303) fanden eine sehr schwache, mit Positronenemission verbundene Aktivität von 4,5 min, für die das Isotop $^{39}_{20}Ca$ verantwortlich gemacht wurde. Nach anfänglich negativ verlaufenen Versuchen (290) beobachtete Walke (319) eine Periode von 18 ± 1 min. Gemäß chemischer Untersuchungen ist der aktive Bestandteil dieser Aktivität ein Kaliumisotop. Infolgedessen konnte der Umwandlungsprozeß entweder auf $^{43}_{19}K$ oder $^{44}_{19}K$ zurückgeführt werden. Das aktive Kaliumisotop würde dann unter Elektronenemission in Kalziumisotope übergehen.

Walke (267) fand weiterhin eine Periode von 2,4 h, die entsprechend den Ergebnissen bei der Beschießung von Kalzium mit Deutonen auf den Kern $^{45}_{20}Ca$ zurückgeführt wurde.

Eine dritte Periode von 12,5 h wurde von Hurst und Walke (264), Walke (267, 319) beobachtet.

Bei der Entdeckung der künstlichen Radioaktivität des Kalziums war die Halbwertszeit zu 16 h gemessen worden. Derselbe Wert wurde neuerdings von Booth und Hurst (307) gefunden. Walke (267) beobachtete eine Periode von 14,5 h, die er mit der 16-h-Periode identifizierte und einer Verunreinigung des Kalziums durch Natrium oder Magnesium zuschrieb.

Eine Halbwertszeit von etwa 1 s konnte von Nahmias und Walen (302) nicht gefunden werden.

21. *Sc*. Bei Skandium sind eine Reihe weiterer Aktivitäten beobachtet worden:

1. Eine Periode von $4{,}0 \pm 0{,}1$ h von Pool u. a. (303, 305) und Walke (312), von letzterem bei Verwendung schneller Neutronen der Quelle $(Li + {}^{2}_{1}D)$. Die Periode wird auf den Prozeß:

$$^{45}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{43}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n$$
$$^{43}_{21}Sc \rightarrow {}^{43}_{20}Ca + e^{+}$$

zurückgeführt. Das aktive Skandiumisotop wurde chemisch nachgewiesen. Bei diesem Prozeß ist zum erstenmal die Emission von drei Neutronen beobachtet. Wie es aus dem Vergleich der Intensität dieser Periode und der 52-h-Periode hervorgeht, ist dieser Prozeß zweimal so wahrscheinlich wie der Umwandlungsprozeß der 52-h-Periode. Der Kern $^{43}_{21}Sc$ emittiert also lieber drei energieärmere Neutronen als zwei energiereiche.

Mit Neutronen einer Energie unter $8 \cdot 10^{6}$ eV wurde die 4-h-Periode nicht gefunden (305).

2. Eine Periode von $12{,}5 \pm 0{,}2$ h wurde von Hurst und Walke (264) und von Walke (312) bei Verwendung schneller Neutronen sichergestellt. Chemische Untersuchungen ergaben als Umwandlungsprozeß:

$$^{45}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{42}_{19}K + {}^{4}_{2}\alpha\,.$$

3. Die Periode von 16 h wurde bei der Entdeckung der Skandiumaktivität gemessen, neuerdings von Hevesy und Levy (234b) und von Pool u. a. (305).
4. Eine starke, mit Positronenemission verbundene Periode von 52 h wurde von Pool u. a. (303, 305) und Walke (312) festgestellt. Der Umwandlungsprozeß ist:

$$^{45}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{44}_{21}Sc + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n$$
$$^{44}_{21}Sc \rightarrow {}^{44}_{20}Ca + e^{+}.$$

Zur Anregung dieser Aktivität sind energiereiche Neutronen erforderlich. Neutronen unter $8 \cdot 10^{6}$ eV sind nach Pool u. a. (305) wirkungslos.

Das aktive Skandiumisotop wurde chemisch nachgewiesen (305).

5. Bei Verwendung langsamer Neutronen wurde eine Aktivität von 84 ± 2 d erzielt; Walke (312). Die Umwandlung erfolgt entsprechend:

$$^{45}_{21}Sc + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{46}_{21}Sc$$
$$^{46}_{21}Sc \rightarrow ^{46}_{22}Ti + e^{-}.$$

Die obere Grenze der Elektronenenergie ist $0{,}87 \cdot 10^6$ eV. Die γ-Strahlung beträgt $0{,}5 \cdot 10^6$ eV.

6. Eine Periode von 2 Monaten und
7. eine lange Periode; beide von Hevesy und Levy (234b) angegeben.

Nach den Messungen von Nahmias und Walen (302) ist eine Aktivität von etwa 1 s nicht vorhanden.

22. *Ti*. Auch bei Titan sind eine Reihe von Aktivitäten beobachtet worden.

1. Eine Periode von $2{,}9 \pm 0{,}1$ min von Walke (267, 311) bei Verwendung langsamer Neutronen gefunden. Als Umwandlungsprozeß hat:

$$^{50}_{22}Ti + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{51}_{22}Ti$$
$$^{51}_{22}Ti \rightarrow ^{51}_{23}V + e^{-}$$

zu gelten.

2. Pool u. a. (303) beobachteten eine sehr starke, mit Elektronenemission verbundene Aktivität von 1,7 h. Walke (311) konnte diese Aktivität nicht bestätigen, hielt sie vielmehr für identisch mit der 2,4-h-Periode.
3. Walke (267, 269 und 311) fand bei Verwendung schneller Neutronen die Periode von $2{,}4 + 0{,}2$ h, für die als Umwandlungsprozeß:

$$^{48}_{22}Ti + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{45}_{20}Ca + ^{4}_{2}\alpha$$
$$^{45}_{20}Ca \rightarrow ^{45}_{21}Sc + e^{-}$$

angesetzt wird.

4. Walke (269) berichtete von einer Periode von 18 h. Anscheinend wurde diese ebenso wie die später (311) beobachtete Periode von 14,5 h einer Verunreinigung des Titans durch Natrium oder Magnesium zugeschrieben.
5. Eine Periode von 28 h wurde von Pool u. a. (303) gefunden. Sie war von großer Intensität, mit Elektronenemission verbunden und auf ein Skandiumisotop zurückzuführen. Walke (311) konnte diese Aktivität nicht bestätigen. Er hielt sie deswegen für eine Kombination der 41-h-Periode des Titans und der 15-h-Periode einer Natrium- oder Magnesiumverunreinigung.
6. Bei Verwendung schneller Neutronen beobachtete Walke (311) eine Periode von 40 ± 3 h gemäß der Umwandlungsgleichung:

$$^{48}_{22}Ti + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{48}_{21}Sc + ^{1}_{1}H$$
$$^{48}_{21}Sc \rightarrow ^{48}_{22}Ti + e^{-}.$$

7. Bei schnellen Neutronen zeigte sich weiter eine Periode von 75 ± 5 h (311), die aber wahrscheinlich als Kombination der 40-h-Periode und einer langen, hier nicht beobachteten Periode zu erklären ist.
8. Sehr schnelle Neutronen erzeugten eine Aktivität von etwa 85 ± 5 d (311). Für sie hatte als Umwandlungsprozeß die Gleichung:

$$^{46}_{22}Ti + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{46}_{21}Sc + ^{1}_{1}H$$
$$^{46}_{21}Sc \rightarrow ^{46}_{22}Ti + e^{-}$$

zu gelten.

Nach den Versuchen von Nahmias und Walen (302) ist eine Aktivität mit einer Halbwertszeit von etwa 1 s nicht vorhanden.

23. *V*. Vanadium zeigte nach neueren Untersuchungen drei Aktivitäten:

1. Eine kurze Periode von 3,75 min nach früheren Messungen, $3{,}9 \pm 0{,}1$ min nach Walke (311) und 4 min nach Pool u. a. (303). Sie wurde auf den Prozeß:

$$^{51}_{23}V + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{52}_{23}V$$
$$^{52}_{23}V \rightarrow ^{52}_{24}Cr + e^{-}$$

zurückgeführt, wobei das aktive Vanadiumisotop chemisch nachgewiesen wurde (303).

2. In den Untersuchungen von Walke (311) fanden sich Anzeichen einer Periode von $3{,}8 \pm 0{,}3$ h. Für diese müßte der Prozeß:

$$^{51}_{23}V + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{50}_{23}V + ^{1}_{0}n + ^{1}_{0}n$$
$$^{50}_{23}V \rightarrow ^{50}_{22}Ti + e^{+}$$

angesetzt werden.

3. Eine Periode von 41 ± 3 h bzw. 1,8 d zeigte sich in den Versuchen von Walke (311) und Pool u. a. (303). Die Aktivität war sehr schwach und wird durch den Prozeß:

$$^{51}_{23}V + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{48}_{21}Sc + ^{4}_{2}\alpha$$
$$^{48}_{21}Sc \rightarrow ^{48}_{22}Ti + e^{-}$$

entstehen.

Eine Aktivität von etwa 1 s ist von Nahmias und Walen (302) nicht beobachtet worden.

24. *Cr*. Die Aktivität des Chroms wurde von Booth und Hurst (307) zu 3,75 min – derselbe Wert hatte sich in einer früheren Untersuchung ergeben –, von Walke (311) zu $3{,}9 \pm 0{,}1$ min und von Pool u. a. (303) zu 4 min bestimmt. Übereinstimmend wurde der Kern $^{52}_{23}V$ für die Aktivität verantwortlich gemacht.

Pool u. a. (303) berichteten von einer weiteren starken, mit Elektronenemission verbundenen Aktivität von 1,7 h. Nahmias und Walen (302) suchten vergeblich nach einer Aktivität von etwa 1 s.

25. *Mn.* Bei Mangan sind zu den bereits bekannten beiden Perioden keine neuen hinzugefunden worden.

Die kurze Periode wurde von Pool u. a. (303) zu 3,6 min, von Booth und Hurst (307) zu 3,75 min und von Walke (311) zu $3{,}9 \pm 0{,}1$ min angegeben. Die Halbwertszeit der zweiten, langen Periode wurde von Pool u. a. (303) mit 2,5 h in Übereinstimmung mit dem bisherigen Wert gefunden.

Das Elektronenspektrum war in einer früheren Arbeit in zwei Teilspektren zerlegt worden. Bacon, Grisewood und van der Merwe (320) bestätigen die Existenz beider Teilspektren. Die Differenz der oberen Grenzen der beiden Teilspektren von $1{,}7 \cdot 10^6$ eV findet sich nach Mitchell und Langer (321) in der γ-Strahlung wieder.

Auch hier suchten Nahmias und Walen (302) vergeblich nach einer Aktivität mit der Halbwertszeit von etwa 1 s.

26. *Fe.* Pool u. a. (303) bestätigten den Wert von 2,5 h für die Halbwertszeit der Eisenaktivität. Eine Periode von etwa 1 s ist in Übereinstimmung mit einer früheren Untersuchung nach Nahmias und Walen (302) nicht vorhanden.

27. *Co.* Die früher unklaren Verhältnisse bei der Aktivierung von Kobalt wurden weitgehend geklärt.

1. Livingood, Fairbrother und Seaborg (291) und Heyn (324) beobachteten eine mit Elektronenemission verbundene Periode von 11 min, die nach letzterem nur bei Verwendung langsamer Neutronen auftrat. Nach Heyn ist sie identisch mit der früher von Rotblat gefundenen Periode von 20 min und dem Isotop $^{60}_{27}Co$ oder $^{58}_{27}Co$ zuzuordnen.
2. Die bekannte Periode von 2,5 h wurde von Pool u. a. (303) und Booth und Hurst (307) bestätigt. Erstere wiesen als aktiven Bestandteil ein Mangan-Isotop nach.
3. Livingood u. a. (291) fanden weiterhin eine Periode von etwa 40 d. Gemäß chemischer Untersuchungen ist die Aktivität auf ein Eisenisotop zurückzuführen (siehe $Fe + {}^2_1D$).
4. Die schon früher beobachtete Periode von der Größenordnung eines Jahres fand sich in den Ergebnissen von Livingood u. a. (291) und Risser (322) wieder. Chemische Analysen wiesen darauf hin, daß das aktive Isotop ein Kobaltisotop sein muß. Nach Risser (322) handelte es sich um das Isotop $^{58}_{27}Co$.

Die Aktivität ist mit einer γ-Strahlung von $2 \cdot 10^6$ eV verbunden; Risser (322, 323). Auch Kobalt hatte nach Nahmias und Walen (302) keine Aktivität mit einer Halbwertszeit von etwa 1 s.

28. *Ni.* Die Angaben über die verschiedenen Nickelaktivitäten gehen auseinander.

1. Die kurze Periode wurde von Heyn (324, 357) zu 11 min und von Booth und Hurst (307) zu 20 min angegeben. Die Aktivität war schwach und trat nur bei Verwendung schneller Neutronen auf.
2. Bei Verwendung langsamer Neutronen zeigte sich eine sehr starke Aktivität, deren Halbwertszeit Pool u. a. (303) zu 2 h, Heyn (324, 357) und Oeser und Tuck (326) zu $2{,}7 \pm 0{,}2$ h bestimmten. Das aktive Isotop wird wahrscheinlich $^{63}_{28}Ni$ sein.
3. Pool u. a. (303) konnten ferner eine sehr schwache Periode von 6 d feststellen.

Nahmias und Walen (302) bestätigten das Fehlen einer Aktivität von etwa 1 s.

29. *Cu.* Zu den bisher bekannten Kupferaktivitäten sind eine Reihe neuer Aktivitäten hinzugekommen.

1. Heyn (324) bzw. Reddemann und Sagane (364, 360) maßen die Halbwertszeit der kürzesten Kupferaktivität zu 6 min bzw. 5 min. Die Aktivität sprach nur auf langsame Neutronen an und wurde auf den Kern $^{66}_{29}Cu$ zurückgeführt (324).
2. Bei Verwendung schneller Neutronen zeigte sich die bereits bekannte Periode von 10,5 min. Die Halbwertszeit wurde neuerdings von Pool u. a. (303, 327) und Sagane (364) zu 10 min, von Heyn (324, 357) und von Chang u. a. (304) zu 10,5 min und von Rotblat (325) zu 11 min gemessen. Als Umwandlungsprozeß hat:

$$^{63}_{29}Cu + {}^1_0n \rightarrow {}^{63}_{29}Cu + {}^1_0n + {}^1_0n$$
$$^{62}_{29}Cu \rightarrow {}^{62}_{28}Ni + e^+$$

zu gelten. Das Kupferisotop als aktiver Bestandteil wurde chemisch nachgewiesen.

Die Anfangsintensität der 11-min-Periode ist nach Rotblat (325) halb so groß wie die der 5-min-Periode.

3. Von einer Periode größer als 30 min berichteten Booth und Hurst (307).
4. Die Halbwertszeit einer neuen, bei Verwendung schneller Neutronen sehr starken Aktivität wurde von Heyn (357) zu 2,5 h, von Oeser und Tuck (326) zu 2,7 h gemessen. Nach Heyn (357) hat als Umwandlungsprozeß:

$$^{63}_{29}Cu + {}^1_0n \rightarrow {}^{63}_{28}Ni + {}^1_1H$$
$$^{63}_{28}Ni \rightarrow {}^{63}_{29}Cu + e^-$$

zu gelten.

5. Pool u. a. (327) fanden eine im Verhältnis zur 12,5-min-Periode sehr schwache Aktivität von 3,5 h, die sie dem Prozeß:

$$^{63}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{61}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n$$

zuschrieben. Ein derartiger Prozeß wurde bereits beim Skandium, allerdings mit größerer Gewißheit, angesetzt.

6. Die Halbwertszeit einer weiteren Aktivität betrug nach Pool u. a. (303) und Heyn (357) 12,5 h, nach Sagane (364) 12,8 h und nach Oeser und Tuck (326) 13 h. Die Aktivität war sehr stark und mußte gemäß chemischer Untersuchungen auf ein Kupferisotop zurückgeführt werden.

Da die Aktivität bei langsamen und schnellen Neutronen in gleicher Stärke auftrat, konnte eine Entscheidung zwischen den beiden möglichen Prozessen:

$$^{63}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{64}_{29}Cu$$

oder

$$^{65}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{64}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n$$

noch nicht gefällt werden. Bemerkenswert ist, daß Pool u. a. (303) und Sagane (364) bei dieser Aktivität sowohl Elektronen- als auch Positronenemission beobachtet hatten.

Von den früher angegebenen Perioden von 6 h und 10 h konnten Oeser und Tuck (326) ebensowenig Anzeichen finden wie Nahmias und Walen (302) von einer Aktivität von etwa 1 s.

30. *Zn*. Die Verhältnisse bei der Aktivierung des Zinks konnten weitgehend geklärt werden.

1. Die bereits bekannte Periode von 6 min wurde von Heyn (324, 357) und Pool u. a. (307) bestätigt. Der Entstehungsprozeß dieser bei Verwendung von schnellen Neutronen sehr starken Aktivität war:

$$^{66}_{30}Zn + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{66}_{29}Cu + {}^{1}_{1}H$$
$$^{66}_{29}Cu \rightarrow {}^{66}_{30}Zn + e^{-}.$$

2. Eine Periode von 40 min wurde durch Heyn (357), Pool u. a. (303) und Thornton (370) sichergestellt. Sagane (364) gab abweichend 37 min an. Als Umwandlungsprozeß gilt:

$$^{64}_{30}Zn + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{65}_{30}Zn + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{1}n$$
$$^{65}_{30}Zn \rightarrow {}^{65}_{29}Cu + e^{+}.$$

Das aktive Zinkisotop wurde chemisch nachgewiesen.

3. Die bekannte 60-min-Periode ist von Heyn (324, 357), Rotblat (325) und Thornton (370) bestätigt. Von Sagane (364) wurde ihre Halbwertszeit zu 57 min gemessen. Da diese Periode sowohl bei schnellen, als auch bei langsamen Neutronen auftrat und das aktive Isotop ein Zinkisotop war (324), muß zu dem bisher für schnelle Neutronen gültigen Prozeß:

$$^{66}_{30}Zn + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{65}_{30}Zn + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n$$
$$^{65}_{30}Zn \rightarrow {}^{65}_{29}Cu + e^{+}$$

ein die Wirksamkeit langsamer Neutronen berücksichtigender Prozeß:

$$^{64}_{30}Zn + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{65}_{30}Zn$$

hinzutreten.

Sagane (364) ordnete diese Periode dem Isotop $^{69}_{30}Zn$ zu. Rotblat (325) fand jedoch in chemischen Untersuchungen abweichend von Heyn, daß der aktive Bestandteil der 60-min-Periode ein Nickelisotop ist.

3. Eine starke Aktivität von 2,5 h wurde von Heyn (357) beobachtet und als Umwandlungsgleichung

$$^{66}_{30}Zn + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{63}_{28}Ni + {}^{4}_{2}\alpha$$
$$^{63}_{28}Ni \rightarrow {}^{63}_{29}Cu + e^{-}$$

angenommen.

4. Booth und Hurst (307) berichteten von einer Aktivität von 6 h, die sie dem Kern $^{66}_{29}Cu$ zuschrieben.

5. Pool u. a. (303), Heyn (357) und Oeser und Tuck (326) fanden bei Verwendung schneller Neutronen eine sehr starke Aktivität mit einer Halbwertszeit von 12,5 h:

$$^{64}_{30}Zn + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{64}_{29}Cu + {}^{1}_{1}H.$$

Das aktive Kupferisotop wurde chemisch nachgewiesen. Nach Pool u. a. (303) ist diese Periode mit der Emission von Elektronen und Positronen verbunden. Thornton (370) fand bei langsamen Neutronen eine Periode von etwa 10 h, bei schnellen eine solche von 14 h.

Eine Periode von etwa 1 s war nach Nahmias und Walen (302) in Bestätigung einer früheren Untersuchung nicht vorhanden.

31. *Ga*. Die bekannten Galliumaktivitäten wurden in neueren Untersuchungen bestätigt und durch eine Reihe weiterer Aktivitäten ergänzt.

1. Chang, Goldhaber und Sagane (304) fanden eine Periode von 5 min, die sie dem Isotop $^{66}_{29}Cu$ entsprechend den Ergebnissen bei der Aktivierung des Zinks zuschrieben:

$$^{69}_{31}Ga + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{66}_{29}Cu + {}^{4}_{2}\alpha$$
$$^{66}_{29}Cu \rightarrow {}^{66}_{30}Zn + e^{-}.$$

2. Die bereits bekannte 20-min-Aktivität wurde von Pool u. a. (303) und Sagane (364) bestätigt. Sie war sehr stark, mit Elektronenemission verbunden und dem Isotop $^{70}_{31}Ga$ zuzuschreiben.
3. Pool u. a. (303) beobachteten ferner eine sehr starke Aktivität von 55 min. Nach chemischen Untersuchungen mußte als aktives Isotop $^{66}_{31}Ga$, das unter Positronenemission zerfällt, angenommen werden.
4. Chang u. a. (304) und Sagane (364) fanden eine Periode von 60 min bzw. 66 min. Es ist ungeklärt, ob diese mit der 55-min-Periode von Pool identisch ist oder mit der bei Zink auftretenden 60-min-Aktivität.
5. Weiterhin fanden Pool u. a. (303) eine starke, mit Positronenemission verbundene Aktivität von 1,7 h, und
6. eine schwache, mit Elektronenemission verbundene Periode von 22 h in Bestätigung eines früheren Ergebnisses. Diese Periode wurde dem Isotop $^{73}_{31}Ga$ zugeordnet. Dem gleichen Isotop schrieb Sagane (364) die von ihm beobachtete Periode von 14,1 h zu.

32. *Ge.* Nach den Beobachtungen von Pool u. a. (303) und Sagane (364) bestand die Aktivität des Germaniums aus den Perioden von:

1. 30 min (364). Sie war mit Positronenemission verbunden und dem Isotop $^{69}_{32}Ge$ zuzuordnen.
2. 78 min (303) bzw. 80 min (364). Nach letzterem war die Periode von Elektronenemission begleitet und auf den Kern $^{75}_{32}Ge$ zurückzuführen.
3. 8 h (364). Als aktiver Bestandteil dieser Periode, in der Elektronen emittiert werden, wurde der Kern $^{77}_{32}Ge$ angenommen.
4. 20h (303) bzw. 26 h (364). Diese Periode war wiederum mit Positronenemission verbunden und wahrscheinlich durch das Isotop $^{71}_{32}Ge$ verursacht.

33. *As.* Pool u. a. (303) fanden bei Arsen neben der bereits bekannten Aktivität von 1,1 d eine schwache Periode von 13 d.

Harteck, Knauer und Schaeffer (328) untersuchten das nach der Methode von Paneth und Fay auf eine Aluminiumfolie niedergeschlagene, aktive Arsen in einer Wilsonkammer und beobachteten die Emission von Elektronen und Positronen und die Bildung von Elektronenzwillingen. Die Positronen und Elektronen mußten in gleicher Weise dem Isotop $^{76}_{33}As$ zugeordnet werden, so daß als Umwandlungsprozeß:

$$^{75}_{33}As + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{76}_{33}As$$
$$^{76}_{33}As \rightarrow ^{76}_{34}Se + e^-$$
$$\searrow\ ^{76}_{32}Ge + e^+$$

anzusetzen war.

Das Elektronenspektrum hatte in Übereinstimmung mit früheren Ergebnissen eine obere Grenze von $3{,}4 \cdot 10^6$ eV. Ein zweites Elektronenspektrum mit der oberen Grenze von $1{,}1 \cdot 10^6$ eV wurde vermutet. Die Differenz von $2{,}3 \cdot 10^6$ eV müßte als γ-Strahlung auftreten. Eine Bestätigung hierfür kann in der Bildung von Elektronenzwillingen gesehen werden, deren kinetische Energie zu $1.2 \cdot 10^6$ eV gemessen wurde, die also durch eine γ-Strahlung von $2{,}2 \cdot 10^6$ eV entstanden sein könnten.

Von Nahmias u. a. (302) war eine Aktivität von etwa 1 s nicht nachweisbar.

34. *Se.* Selen zeigte zwei Aktivitäten:

1. Bei Verwendung langsamer Neutronen eine Periode von 22 min, Heyn (329). Von Fermi war früher eine 35-min-Periode angegeben worden.
2. Eine starke Periode von 56 min nach Heyn (329), von 57 min nach Snell (310) und von 60 min nach Pool u. a. (303). Snell (310) nahm als Umwandlungsgleichung:

$$^{78}_{34}Se + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{79}_{34}Se$$
$$^{79}_{34}Se \rightarrow ^{79}_{35}Br + e^-$$

an. Das aktive Selenisotop wurde von Pool u. a. (303) chemisch nachgewiesen.

In Einklang mit früheren Ergebnissen suchten Nahmias u. a. (302) vergeblich nach einer Aktivität von etwa 1 s.

35. *Br.* Zu den bisher bekannten Aktivitäten des Broms kamen zahlreiche neue Perioden hinzu.

1. Bei Verwendung von schnellen Neutronen trat eine neue Aktivität auf, deren Halbwertszeit von Pool u. a. (303) zu 7 min, von Heyn (329) und Chang u. a. (304) zu 5 min und von Snell (310) zu 6,4 min gemessen wurde. Letzterer nahm als Umwandlungsgleichung:

$$^{79}_{35}Br + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{78}_{35}Br + ^{1}_{0}n + ^{1}_{0}n$$
$$^{78}_{35}Br \rightarrow ^{78}_{34}Se + e^+$$

an. Die obere Grenze der Positronenenergie betrug $2{,}3 \cdot 10^6$ eV.
2. Die bekannte Periode mit der Halbwertszeit von 18 min wurde von Pool u. a. (303), Heyn (329), Snell (310), Reddemann (360) und Soltan und Wertenstein (361) bestätigt.
3. In Übereinstimmung mit dem früheren Wert von 4,2 h fanden Pool u. a. (303) eine Periode von 4 h, Snell (310) und Soltan und Wertenstein (361) eine solche von 4,5 h.

Die 18-min-Aktivität und die 4,5-h-Aktivität stammten von dem Zerfall des isomeren Bromisotops $^{80}_{35}Br$ her.

Das Verhältnis der Intensitäten der kurzen Periode zur langen war nach den Untersuchungen von Soltan u. a. (361) bei Verwendung schneller Neutronen 0,56, bei Verwendung langsamer Neutronen 2.

Die Annahme, daß für beide Perioden ein Bromisotop verantwortlich zu machen ist, bewiesen die chemischen Untersuchungen von Pool u. a. (303).

Als Umwandlungsgleichung hatte also zu gelten:

$$^{79}_{35}Br + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{80}_{35}Br$$

Die mit der kurzen Periode emittierten β-Teilchen hatten eine obere Energiegrenze von $2{,}2 \cdot 10^6$ eV, die mit der langen Periode emittierten β-Teilchen eine solche von $2{,}0 \cdot 10^6$ eV.

Die kurze Periode ist von einer γ-Strahlung von $0{,}5 \cdot 10^6$ eV. begleitet.

Der isomere Kern $^{80}_{35}Br$ zerfällt mit zwei verschiedenen Zerfallszeiten. Da die Energie der Resonanzneutronen zur Anregung der beiden Perioden in den Versuchen von Fleischmann (330) gleich groß war, muß geschlossen werden, daß die Isomerie erst nach der Einfangung des Neutrons entsteht, wenn der entstandene Zwischenkern die freigewordene Bindungsenergie abgibt.

Weiterhin waren von Snell (310) gefunden:

4. Eine Periode von weniger als 5 min:

$$^{81}_{35}Br + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{81}_{35}Se + ^{1}_{1}H\ .$$

5. Die Periode von 57 ± 1 min:

$$^{79}_{35}Br + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{79}_{34}Se + ^{1}_{1}H\ .$$

6. Die Periode von 65 ± 3 min:

$$^{81}_{35}Br + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{78}_{33}As + ^{4}_{2}\alpha\ .$$

7. Die Periode von 26 ± 1 h, die mit der früher angegebenen Periode von 24 h identisch sein wird:

$$^{79}_{35}Br + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{76}_{33}As + ^{4}_{2}\alpha\ .$$

Eine Aktivität von etwa 1 s war nach Nahmias u. a. (302) nicht vorhanden.

37. *Rb*. Die Verhältnisse bei der Aktivierung des Rubidiums sind noch ungeklärt.

Pool u. a. (303) beobachteten zwei sehr starke, mit Elektronenemission verbundene Perioden von 11 min und 22 h.

Snell (310) fand dagegen ganz andere Perioden:

1. Die Periode von 18 ± 2 min. Für ihre Erklärung kommt eins der beiden Rubidiumisotope $^{85}_{37}Rb$ oder $^{86}_{37}Rb$ in Frage.
2. Die Periode von 35 ± 3 min, die dem Kern $^{84}_{35}Br$ oder einer Verunreinigung an Kalium zugeschrieben wurde.
3. Die Periode von 34 ± 3 h. Für sie wurde als Umwandlungsprozeß:

$$^{85}_{37}Rb + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{82}_{35}Br + ^{4}_{2}\alpha$$
$$^{82}_{35}Br \rightarrow ^{82}_{36}Kr + e^-$$

angegeben.

Die obere Grenze der Elektronenenergie lag bei $0{,}4 \cdot 10^6$ eV. Die mit diesem Prozeß verbundene γ-Strahlung betrug nach früheren Messungen von B. und J. Kourtschatow, Myssowski und Roussinow (117) $0{,}65 \cdot 10^6$ eV.

4. Die Periode von 18 ± 1 d. Für ihre Erklärung kommt ebenfalls eins der beiden Rubidiumisotope $^{86}_{37}Rb$ oder $^{88}_{37}Rb$ in Frage.
5. Die schwache Periode von etwa 6 Wochen. Sie wurde dem Kern $^{84}_{35}Br$ zugeordnet.

38. *Sr*. Die Aktivität des Strontiums war erst in letzter Zeit gefunden worden.

1. Pool u. a. (303) beobachteten eine starke, mit Elektronenemission verbundene Aktivität von 18 min.
2. Pool u. a. (303) und Stewart, Lawson und Cork (315) fanden eine Periode von $3{,}0 \pm 0{,}1$ h. Erstere wiesen als aktives Isotop ein Strontiumisotop nach und gaben an, daß die Aktivität mit der Emission von Positronen verbunden sei. Stewart u. a. dagegen beobachteten Elektronen und maßen ihre obere Energiegrenze zu $0{,}61 \cdot 10^6$ eV.

   Die Aktivität wurde von einer γ-Strahlung begleitet.
3. Stewart u. a. (315) fanden noch eine Periode von 55 ± 5 d von gleicher Anfangsintensität wie die 3-h-Periode. Die obere Grenze der Elektronenenergie lag bei $1{,}9 \cdot 10^6$ eV.

In der Strontiumaktivität war nach Nahmias u. a. (302) eine Periode von etwa 1 s nicht vorhanden.

39. *Y*. Bei Yttrium liegen nach den neuesten Untersuchungen folgende Verhältnisse vor:

1. Eine starke, mit Elektronenemission verbundene Aktivität von 11 min und
2. eine ebenfalls starke Periode von 1,2 h. Beide wurden von Pool u. a. (303) beobachtet.
3. Stewart u. a. (315) fanden bei Verwendung schneller Neutronen eine Aktivität von 2 h:

$$^{89}_{39}Y + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{88}_{39}Y + ^{1}_{0}n + ^{1}_{0}n$$
$$^{88}_{39}Y \rightarrow ^{88}_{38}Sr + e^+\ .$$

Die obere Grenze der Positronenenergie wurde zu $1{,}2 \cdot 10^6$ eV bestimmt.

4. In den Versuchen von Pool u. a. zeigte sich eine schwache Aktivität von 6,5 h mit Elektronenemission.
5. Von Pool u. a. (303) und von Stewart u. a. (315) wurde eine Aktivität von 60 h beobachtet, die wahrscheinlich mit der 70-h-Aktivität von Hevesy und Levy (234b) identisch ist. Sie wurde von Stewart u. a. auf den Prozeß:

$$^{89}_{39}Y + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{90}_{39}Y$$
$$^{90}_{39}Y \rightarrow {}^{90}_{40}Zr + e^{-}$$

mit der oberen Grenze der Elektronenenergie von $2{,}6 \cdot 10^6$ eV zurückgeführt.

Nahmias u. a. (302) suchten vergeblich nach einer Aktivität von etwa 1 s.

40. *Zr.* Bei Zirkonium fanden Pool u. a. (303) folgende Aktivitäten:

1. Von 10 min mit großer Intensität.
2. Von 5 h mit geringer Intensität. Das aktive Isotop wurde chemisch als Zirkonisotop nachgewiesen.
3. Von 44 h, ebenfalls mit geringer Intensität. Als aktiver Bestandteil dieser Periode wurde chemisch ein Zirkonisotop sichergestellt. Die Periode ist wahrscheinlich identisch mit der einzigen, früher bekannten Zirkonperiode von 40 h.

Eine Aktivität von etwa 1 s war nach Nahmias u. a. (302) nicht vorhanden.

41. *Nb.* Die Aktivität des Niobs wurde erst neuerdings von Pool u. a. (303) gefunden. Sie wies zwei schwache Perioden auf von:

1. 7,3 min und
2. 3,8 d.

Nahmias und Walen (302) konnten eine Periode von etwa 1 s nicht finden.

42. *Mo.* Bei Molybdän sind die Verhältnisse noch unklar. Zu den bereits bekannten Perioden von 25 min, 30 min und 36 h traten die von Heyn (329) bei Verwendung schneller Neutronen erzielten Aktivitäten von 21 min und die von Pool u. a. (303) beobachteten Perioden von 17 min – große Intensität, Elektronenemission – und von 5 d – geringe Intensität, Elektronenemission – hinzu.

Nach Nahmias u. a. (302) war eine Periode von etwa 1 s nicht vorhanden.

44. *Ru.* Nach den Untersuchungen von Pool u. a. (303) und Veldkamp und de Vries (358) zeigte Ruthenium folgende Perioden:

1. 45 s (358),
2. 4 min (358),
3. 24 min (303),
4. 3,6 h (303) bzw. 4 h (358) und
5. 22 h (358).

Diesem Ergebnis stehen die früher gemessenen Perioden von 40 s, 100 s, 11 h und 75 h gegenüber. Mit Ausnahme der kürzesten Periode hatte keine der früheren Perioden bestätigt werden können.

Nach Veldkamp u. a. ist die 45-s-Periode ebenso wie die 4-min-Periode auf eine Verunreinigung an Rhodium zurückzuführen.

Die Intensitäten der 4 von Veldkamp u. a. gefundenen Perioden waren:

45 s : 4 min : 4 h : 22 h = 100 : 10 : 80 : 200.

Anzeichen für eine längere Periode waren nicht vorhanden.

45. *Rh.* Die Ergebnisse der neueren Untersuchungen der Rhodiumaktivität durch Pool u.a. (303), Bertl, Oboril und Sitte (331) und Reddemann (360) standen mit den bisherigen Daten in guter Übereinstimmung.

1. Die Periode, für die früher 35 s und 44 s angegeben worden war, wurde zu 40 s (360) und $43{,}5 \pm 3{,}5$ s (331) gemessen.
2. Für die frühere 3,9-min-Periode wurde jetzt $3{,}36 \pm 0{,}24$ min (331) und 4 min (303) und (360) angegeben. Nach Pool u. a. (303) war die Periode von großer Intensität und mit Elektronenemission verbunden.

   Nach den Untersuchungen von Reddemann (360) war die Intensität der 40-s-Periode bei Verwendung schneller Neutronen 3mal stärker als die der 4-min-Periode, bei Verwendung langsamer Neutronen jedoch 11mal stärker.

   Abweichend von der früheren Vermutung nahm Reddemann an, daß die beiden Perioden von demselben Kern ausgehen, hier also wieder ein Fall von Isomerie vorliegt. Die Wahrscheinlichkeit für das Entstehen der einen oder anderen Abart dieses Kernes hinge dabei von der Anregungsenergie des Zwischenkernes ab.
3. Pool u. a. (303) fanden eine neue schwache Periode von 1,1 h.

Nahmias und Walen suchten vergeblich nach einer Aktivität mit einer Halbwertszeit von etwa 1 s.

46. *Pd.* In Einklang mit früheren Daten wurden für die Aktivität des Palladiums angegeben:

1. Eine Periode von 17 min von Kraus und Cork (316) und 18 min von Pool u. a. (303). Die Intensität dieser Periode war gering. Die Aktivität selbst verlief unter Emission von Elektronen.
2. Eine Periode von 13 h von Kraus und Cork (316) und von 12,5 h von Pool u. a. (303). Die Aktivität war ebenfalls schwach und mit Elektronenemission verbunden.

Für beide Perioden sind die aktiven Isotope als Palladiumisotope von Pool u. a. (303) chemisch nachgewiesen worden.

Die beiden Perioden traten nach Kraus u. a. (316) bei Verwendung schneller und langsamer Neutronen auf, nur war die Anfangsintensität der 17-min-Periode im Verhältnis zur 13-h-Periode kleiner bei schnellen Neutronen als bei langsamen.

Eine Aktivität mit einer Halbwertszeit von etwa 1 s war nach Nahmias und Walen (302) nicht vorhanden.

47. *Ag*. In Verein mit den früheren Ergebnissen kann die Aktivität des Silbers in folgende Perioden zerlegt werden:

1. In die Periode von 22 s. Pool u. a. (335) fanden bei Verwendung langsamer Neutronen 20 s, Kraus und Cork (316) – ebenfalls mit langsamen Neutronen –, Bertl, u. a. (333) und Mitchell (372) 22 s, Reddemann (360) 23 s und Bertl u. a. (331) 24 ± 5 s.

   Als Entstehungsprozeß dieser Aktivität wurde:

$$^{109}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{110}_{47}Ag$$
$$^{110}_{47}Ag \rightarrow {}^{110}_{48}Cd + e^{-}$$

   von Pool u. a. (335) und Kraus u. a. (316) angenommen.

2. In die Periode von 2,3 min. Übereinstimmend mit den früheren Daten wurden von Pool u.a. (335) bei Verwendung langsamer Neutronen 2 min, von Kraus u. a. (316), Reddemann (360), Reddemann und Strassmann (332) und Mitchell (372) 2,3 min, von Heyn (329) 2,4 min und von Bertl u. a. (331, 333) 100 ± 15 s bzw. 110 ± 12 s angegeben.

   Nach Bertl u. a. (333) hatte diese Periode annähernd die gleiche Intensität wie die 22-s-Periode.

   Als Umwandlungsprozeß hat nach Pool u. a. (335) und Kraus u. a. (316):

$$^{107}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{108}_{47}Ag$$
$$^{108}_{47}Ag \rightarrow {}^{108}_{48}Cd \rightarrow e^{-}$$

   zu gelten.

   Letztere fanden diese Periode sowohl bei Verwendung schneller als auch langsamer Neutronen. Reddemann u. a. konnten die Aktivität durch Abbremsung der Neutronen um den Faktor 21 verstärken.

3. In die neue Periode von 25 min. Diese Periode wurde nur bei schnellen Neutronen beobachtet. Pool u. a. (303, 335) gaben 25,5 min, Kraus u. a. (316) und Mitchell (372) 26 min, Rotblat (325) 25 ± 3 min und Heyn (329) 24 min an.

   Als Umwandlungsprozeß wurde von Pool u. a. (335), Kraus u. a. (316), Reddemann u. a. (332) und von Rotblat (325):

$$^{107}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{106}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n$$
$$^{106}_{47}Ag \rightarrow {}^{106}_{46}Pd + e^{+}$$

   angesetzt.

   Die Anfangsintensität dieser Periode war nach Reddemann (332) etwa 20mal schwächer als die der 2,3-min-Periode. Durch Abbremsung der Neutronen wurde sie nur unwesentlich verstärkt.

   Das aktive Silberisotop ist von Pool u.a. (303) und von Reddemann (332) chemisch nachgewiesen. Die obere Grenze der Positronenenergie war nach Kraus u. a. (316) $2{,}24 \cdot 10^6$ eV, nach Pool (362) $1{,}9 \cdot 10^6$ eV.

4. In die Periode von 180 h. Pool u. a. (335, 362) gaben für sie 8 bzw. 8,2 d und Kraus u. a. (316) 180 h an. Pool u. a. (303) beobachteten eine Periode von 13 d, die wahrscheinlich mit der Periode von 180 h identisch war.

   Als Umwandlungsprozeß hat:

$$^{107}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{106}_{47}Ag + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n$$
$$^{106}_{47}Ag \rightarrow {}^{106}_{48}Cd + e^{-}$$

   zu gelten.

   Die obere Grenze der Elektronenenergie betrug $1{,}3 \cdot 10^6$ eV.

   Mit der Aktivität war eine γ-Strahlung von 1,0, 0,7 und $0{,}3 \cdot 10^6$ eV verbunden. Und zwar entfielen auf 1 Elektron 35 γ-Quanten.

   Die beiden Perioden von 26 min und 180 h wurden dem Kern $^{106}_{47}Ag$ zugeschrieben. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß diese beiden Perioden auch bei Beschießung von Kadmium mit schnellen Neutronen, von Palladium mit schnellen Deutonen und von Rhodium mit schnellen α-Teilchen auftraten, war die Annahme, daß der Kern $^{106}_{47}Ag$ isomer ist, die einzig mögliche Erklärung für die Entstehung der beiden Aktivitäten.

   Für die Deutung der von Pool beobachteten 8,2-d-Periode bestehen folgende Zerfallsmöglichkeiten des Kerns $^{106}_{47}Ag$:

   a) Emission eines Elektrons:

$$^{106}_{47}Ag \rightarrow {}^{106}_{48}Cd + e^{-}$$

   oder

   b) Einfangung eines Elektrons der K-Schale:

$$^{106}_{47}Ag + e^{-} \rightarrow {}^{106}_{46}Pd\ .$$

   Die letztere Erklärung ist in Anbetracht der großen Zahl der auf ein Elektron entfallenden γ-Quanten wahrscheinlicher.

   Unter Berücksichtigung der für die 25-min-Periode herangezogenen Deutung kann also der labile Kern $^{106}_{47}Ag$ auf folgende drei Arten in einen stabilen Kern übergehen:

a) Durch Einfangung eines Elektrons der K Schale.
b) Durch Emission eines Elektrons und
c) durch Emission eines Positrons.

Für diese Zerfallsprozesse gaben Pool und Campbell (363) die Wahrscheinlichkeiten von 640 : 40 : 1 an.

5. In die schwache Periode von etwa 3 Monaten, Mitchell (372).

Die Vermutung der Existenz einer 50-s-Periode mußte fallen gelassen werden, weil Rotblat (325) keine Anzeichen für diese Aktivität fand und Guében (334), der diese Periode früher beobachtet hatte, sie nach neueren Untersuchungen mit der 44-s-Periode des Rhodiums identifizierte und somit einer Verunreinigung des Silbers zuschrieb.

Ebensowenig konnte die früher angegebene Periode von 70 min bestätigt werden.

Silber hatte nach Nahmias und Walen (302) keine Aktivität mit einer Halbwertszeit von etwa 1 s.

48. *Cd*. Bei Kadmium sind durch neuere Untersuchungen folgende Aktivitäten festgestellt worden:

1. Eine Periode von etwa 25 min. Im einzelnen gaben Heyn (329) 20 min, Pool (362) 24,5 min, Pool u. a. (338) 25,5 min und Pool u. a. (303) 33 min an.

Als Umwandlungsprozeß wurde:

$$^{106}_{48}Cd + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{106}_{47}Ag + ^{1}_{1}H$$
$$^{106}_{47}Ag \rightarrow ^{106}_{46}Pd + e^{+}$$

angesetzt.

Die Aktivität wurde also auf den isomeren Kern $^{106}_{47}Ag$ zurückgeführt. Das aktive Silberisotop ist auch von Pool u. a. (338) chemisch nachgewiesen. Heyn (329) schrieb diese Aktivität jedoch dem Kadmiumisotop $^{115}_{48}Cd$ zu.

Die obere Grenze der Positronenenergie wurde von Pool (362) zu $1{,}9 \cdot 10^{6}$ eV bestimmt.

2. Eine Periode von etwa 3,2 h. Im einzelnen wurde angegeben von Pool u. a. (303) 3 h, Pool (362) 3,2 h, Heyn (329) 3,3 h und Mitchell (337) etwa 5 h. Heyn (329) führte diese Periode auf das Isotop $^{109}_{48}Cd$, Pool u. a. (303) auf $^{115}_{48}Cd$ und neuerdings (362) auf $^{112}_{48}Ag$ zurück entsprechend:

$$^{112}_{48}Cd + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{112}_{47}Ag + ^{1}_{1}H\,.$$

Die obere Grenze des β-Spektrums lag nach Pool (362) bei $2{,}2 \cdot 10^{6}$ eV.

Diese Aktivität war mit einer γ-Strahlung verbunden, und zwar kamen auf ein β-Teilchen 4 γ-Quanten.

3. Eine Periode von etwa 52 h. Im einzelnen gaben Mitchell (337) 52 ± 5 h und Pool u. a. (303) 53 h an.

Nach letzteren war diese sehr schwache, mit Elektronenemission verbundene Aktivität auf den Kern $^{117}_{48}Cd$ zurückzuführen.

Nach Mitchell (337) war die Aktivität an Intensität etwa 5mal kleiner als die 5-h-Periode.

4. Eine Periode von etwa 8,2 d (303, 362). Als aktives Isotop wurde Silber chemisch festgestellt.

Während Pool u. a. (303) die Aktivität wiederum auf den isomeren Kern $^{106}_{47}Ag$:

$$^{106}_{48}Cd + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{106}_{47}Ag + ^{1}_{1}H$$
$$^{106}_{47}Ag \rightarrow ^{106}_{48}Cd + e^{-}$$

zurückführten, schrieb Pool (362) sie dem Kern $^{111}_{47}Ag$ zu.

Heyn (329) berichtete ferner von einer schwachen, bei langsamen Neutronen auftretenden Aktivität von 70–200 min.

Nahmias u. a. (302) suchten vergeblich nach einer Aktivität mit einer Halbwertszeit von etwa 1 s.

49. *In*. Bei der Aktivität von Indium wurden 5 Perioden beobachtet:

1. Die Periode von 13 s, wie sie bereits früher angegeben worden war, von Lawson und Cork (336). Aus einem, bei der Diskussion der 54-min-Periode angeführten Grunde wurde diese Periode auf den Kern $^{116}_{49}In$ zurückgeführt.
2. Die Periode von etwa 1 min. Im einzelnen wurde 1,2 min von Lawson u. a. (336), 1,1 min von Pool u. a. (303) und 1 min von Chang u. a. (304) gemessen.

Diese Aktivität war nach Pool u. a. (303) verhältnismäßig stark und mit Elektronenemission verbunden. Nach Lawson u. a. (336) mußte sie, da sie nur von schnellen Neutronen erzeugt wurde, dem Kern $^{112}_{49}In$ zugeordnet werden.

3. Die Periode von 54 min. Dieser Wert wurde schon früher angegeben und neuerdings von Pool u. a. (303) und Lawson u. a. (336) bestätigt. Mitchell (372) maß 50 ± 5 min.

Da das Verhältnis der Intensitäten der 13-s-Periode und der 54-min-Periode bei Verwendung schneller und langsamer Neutronen gleich war, mußte hier wiederum ein Fall von Isomerie vorliegen. Beide Perioden waren bei langsamen Neutronen stärker. Sie wurden dem Kern $^{116}_{49}In$ zugeschrieben. Aktives Indium ist von Pool u. a. (303) chemisch nachgewiesen.

Diese Aktivität war mit Elektronenemission und nach Mitchell und Langer (321) auch mit einer γ-Strahlung von $1{,}39 \cdot 10^6$ eV verbunden.

4. Die Periode von etwa 4 h. Im einzelnen gaben Lawson u. a. (336) 4,1 h, Pool u. a. (303) 4 h und Pool (362) 3,2 h an. Der frühere Wert lag bei 3,5 h.

Gemäß chemischer Untersuchungen von Pool u. a. (303) war diese sehr starke Aktivität auf ein Indiumisotop zurückzuführen, wie es Lawson u. a. (336) bei der Zuordnung zu dem Isotop $^{114}_{49}In$ taten. Pool (362) nahm dagegen als aktiven Bestandteil ein Silberisotop an und vermutete als Umwandlungsprozeß:

$$^{115}_{49}In + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{112}_{47}Ag + {}^{4}_{2}\alpha\,.$$

Das aktive Silberisotop wurde von ihm chemisch nachgewiesen.

Mit der Art des angenommenen Umwandlungsprozesses deckte sich die Beobachtung von Lawson u. a. (336), daß diese Periode bei schnellen Neutronen stärker ist als bei langsamen.

Nach Pool u. a. (362) war die obere Grenze des β-Spektrums $2{,}2 \cdot 10^6$ eV und die Aktivität von einer γ-Strahlung begleitet. Es entfielen 4 γ-Quanten auf ein β-Teilchen.

5. Die Periode von etwa 2 Monaten. Dieser Wert wurde von Pool u. a. (303) und von Pool (362) angegeben, während die Werte von Lawson u. a. (336) mit 50 d und von Mitchell (372) mit 45 ± 3 d etwas davon abwichen.

Das aktive Isotop war auf Grund chemischer Untersuchungen ein Indiumisotop. Lawson u. a. (336) und Mitchell (372) führten sie auf das Isotop $^{114}_{49}In$ zurück, nach letzteren gemäß:

$$^{113}_{49}In + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{114}_{49}In$$
$$^{114}_{49}In \rightarrow {}^{114}_{50}Sn + e^-\,.$$

Entsprechend der Annahme von Lawson und Cork (336), daß die 4-h-Periode auch auf den Kern $^{114}_{49}In$ zurückzuführen ist, müßte dieser Kern also ebenfalls isomer sein. Von Mitchell (372) konnte aber die 4-h-Periode neben der Periode von etwa 2 Monaten nicht beobachtet werden.

Diese Aktivität war verhältnismäßig stark und mit Elektronenemission verbunden. Die obere Grenze der Elektronenenergie lag bei $2{,}15 \cdot 10^6$ eV nach Lawson u. a. (336).

50. *Sn*. Bei Zinn stehen jetzt folgende Aktivitäten fest:

1. Die Aktivität mit der Halbwertszeit von 6 min. Der frühere Wert wurde von Nahmias und Walen (302) und Livingood (unveröffentlicht) bestätigt. Die Intensität konnte durch Abbremsung der Neutronen verdreifacht werden.
2. Die Aktivität mit der Halbwertszeit von 18 min. Sie gehörte nach Nahmias u. a. (302) eventuell zu dem Prozeß:

$$^{120}_{50}Sn + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{121}_{50}Sn$$
$$^{121}_{50}Sn \rightarrow {}^{121}_{51}Sb + e^-\,.$$

3. Die Aktivität mit der Halbwertszeit von 47 min. Diese starke, mit Elektronenemission verbundene Periode wurde von Pool u. a. (303) beobachtet.
4. Die Aktivität mit der Halbwertszeit von ungefähr 6 h nach unveröffentlichten Messungen von Livingood.

Eine Aktivität mit einer Halbwertszeit von etwa 1 s war entsprechend den Untersuchungen von Nahmias u. a. (302) in Einklang mit einer früheren Beobachtung nicht vorhanden.

51. *Sb*. Zu der bereits bekannten Antimonperiode sind zwei weitere Perioden hinzugekommen. In der Antimonaktivität finden sich also:

1. Die Periode von etwa 15 min. Im einzelnen wurde von Livingood und Seaborg (297) 16 min, Pool u. a. (303) 15,4 min, Chang u. a. (304) 13 min und Heyn (329) 17 ± 1 min angegeben.

Nach Livingood u. a. und Pool u. a. war die Aktivität von großer Intensität, mit Positronenemission verbunden und auf den Kern $^{120}_{51}Sb$ zurückzuführen.
2. Die Periode von 2,5 d. Dieser bereits früher angegebene Wert wurde von Livingood u. a. (297) mit 2,5 d und Pool u. a. (303) mit 2,3 d bestätigt.

Die Aktivität war verhältnismäßig schwach, mit Elektronenemission verbunden und gemäß chemischer Untersuchungen einem Antimonisotop zuzuordnen, wahrscheinlich dem Isotop $^{122}_{51}Sb$.
3. Die Periode von 60 d, die von Livingood u. a. (297) gefunden wurde. Der aktive Teil dieser Periode war wiederum ein Antimonisotop, wahrscheinlich $^{124}_{51}Sb$.

Ein Aktivität mit einer Halbwertszeit von etwa 1 s war nach den Messungen von Nahmias und Walen (302) nicht vorhanden.

52. *Te*. Die bisher zu 45 min angegebene Halbwertszeit der Telluraktivität wurde von Heyn (329) zu 60 min, von Pool u. a. (303) zu

	Bestrahltes Element	Halbwertszeit Hevesy Levy (234b)	Halbwertszeit Pool u. a. (303)	1 sec-Periode Nahmias (302)	relative Intensität (234b)	emitt. Teilchen (303)	aktives Isotop Pool u. a. (303)
53.	Jod	—	26 min	keine	stark	—	$^{128}_{53}J$
55.	Zäsium	—	—	,,	—	—	—
56.	Barium	—	2,5 min	,,	stark	—	—
		—	85 min	,,	schwach	—	$^{139}_{56}Ba$
57.	Lanthan	1,9 d	2,2 h	,,	2	—	—
58.	Zer	—	40 min	,,	schwach	e^-	—
59.	Praseodymium	5 min	3 min	,,	4,5	e^-	$^{140}_{59}Pr$
		19 h	20 h	,,			$^{142}_{59}Pr$
60.	Neodymium	1 h	2,2 h	,,	0,04	e^-	—
		—	19 h	,,	schwach	e^-	$^{149}_{60}Pr$
62.	Samarium	40 min	—	,,	0,6	—	—
		2 d	—	,,	2,6	—	—
63.	Europium	9,2 h	—	—	80	—	—
64.	Gadolinium	7 h	19 h	keine	schwach	e^-	—
65.	Terbium	3,9 h	—	—	2,5	—	—
66.	Dysprosium	2,5 h	2,5 h	—	100	e^-	—
67.	Holmium	35 h	—	—	20	—	—
68.	Erbium	7 min	—	—	—	—	—
		12 h	—	—	0,35	—	—
69.	Thulium	lang	—	—	12	—	—
70.	Ytterbium	3,5 h	—	keine	0,25	—	—
71.	Cassiopeium	4 h	—	—	1	—	—
		6–7 d	—	—	1,4	—	—

66 min gemessen. Die Aktivität war stark und mit Elektronenemission verbunden.

Außerdem wurde von Pool u. a. (303) eine schwache Periode von 30 d beobachtet.

Nahmias und Walen (302) suchten vergeblich nach einer Aktivität mit einer Halbwertszeit von etwa 1 s.

53–72. *J-Hf.* Die Ergebnisse bei der Aktivierung der Elemente, die zwischen Jod und Hafnium liegen, sind, wie früher, in einer Tabelle zusammengefaßt worden.

Ergänzende Angaben sind zu machen für:

53. *J.* Die Halbwertszeit von 25 min wurde auch von Reddemann (360) gemessen.

63. *Eu.* Die obere Energiegrenze der mit der Europiumaktivität verbundenen Elektronenemission wurde von Alichanow u. a. (262) zu $2 \cdot 10^6$ eV bestimmt.

73. *Ta.* Die Aktivität des Tantals war sehr gering, so daß die Bestimmung ihrer Halbwertszeit auf erhebliche Schwierigkeiten stieß. Heyn (329) konnte nur das Vorhandensein einer Aktivität beobachten. Pool u. a. (303) gaben 9,1 h an. Eine Periode von etwa 1 s ist nach den Untersuchungen von Nahmias und Walen (302) nicht vorhanden.

74. *W.* Die Wolframaktivität enthält nach den Messungen von Nahmias u. a. (302) keine Periode von etwa 1 s.

75. *Re.* Von den beiden früher angegebenen Rheniumperioden konnte nur die eine von 18 h von Pool u. a. (303) bestätigt werden. Sie war verhältnismäßig stark mit Elektronenemission verbunden und dem Isotop $^{186}_{75}Re$ zuzuordnen.

77. *Ir.* Bei Iridium liegen folgende Verhältnisse vor:

1. Bei Verwendung schneiler und langsamer Neutronen trat eine Periode von 1,5 min auf; McMillan, Kamen und Ruben (339). Für sie wurde der Umwandlungsprozeß:

$$^{193}_{77}Ir + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{194}_{77}Ir$$
$$^{194}_{77}Ir \rightarrow ^{194}_{78}Pt + e^-$$

angenommen.

2. Die früher angegebene Periode von 50 min wurde nicht mehr beobachtet.
3. Die bekannte Periode von 19 h zeigte sich in den Untersuchungen von McMillan u. a. (339) bei Verwendung langsamer Neutronen, während sie bei schnellen Neutronen nicht sicher nachweisbar war. Pool u. a. (303) maßen für diese starke, mit Elektronenemission verbundene Aktivität die Halbwertszeit von 15 h. Die Aktivität wurde übereinstimmend dem Kern $^{194}_{77}Ir$ zugeordnet, der also isomer sein muß. Die Umwandlungsgleichung ist dieselbe wie für die 1,5-min-Periode:

$$^{193}_{77}Ir + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{194}_{77}Ir$$
$$^{194}_{77}Ir \rightarrow ^{194}_{78}Pt + e^-.$$

Die obere Grenze der Elektronenenergie lag bei $2{,}1 \cdot 10^6$ eV.

4. Die früher angegebene Periode von 3 d wurde ebenfalls nicht bestätigt.
5. Bei Verwendung langsamer und schneller Neutronen zeigte sich eine Periode von etwa 2 Monaten; McMillan (339). Sie wurde dem Isotop $^{192}_{77}Ir$ zugeschrieben, das auf zwei verschiedene Arten entstehen konnte:

$$^{191}_{77}Ir + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{192}_{77}Ir$$

oder

$$^{192}_{77}Ir \rightarrow ^{192}_{78}Pt + e^-$$

$$^{193}_{77}Ir + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{192}_{77}Ir + ^{1}_{0}n + ^{1}_{0}n$$

$$^{192}_{77}Ir \rightarrow ^{192}_{78}Pt + e^-.$$

6. McMillan u. a. (339) fanden außerdem eine kurze Periode, deren Halbwertszeit sie nicht bestimmen konnten.

Mit der Iridiumaktivität ist keine α-Teilchenemission verbunden.

78. *Pt.* Platin zeigte in den neueren Untersuchungen von McMillan u. a. (339) folgende Eigentümlichkeiten. Bei der Beschießung mit langsamen Neutronen traten die Perioden von 31 min, 18 h und 3,3 d auf. Bei der chemischen Trennung der bestrahlten Substanz in einen Goldteil und in einen Platinteil fanden sich die Perioden von 31 min in dem Goldteil und die 18-h-Periode in dem Platinteil wieder. In beiden Teilen jedoch trat die Periode von 3,3 d auf. Es existierten also ein Gold- und ein Platinisotop gleicher Zerfallszeit. Die 3,3-d-Aktivität des Goldes war halb so stark wie die 3,3-d-Aktivität des Platins.

Wie weitere Untersuchungen zeigten, stammte das Goldisotop mit der Zerfallszeit von 3,3 d von dem Goldisotop der Zerfallszeit von 31 min. Es hatte also folgende Gleichung als Umwandlungsprozeß zu gelten:

$$^{198}_{78}Pt + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{199}_{78}Pt \qquad (31\text{ min})$$

$$^{199}_{78}Pt \rightarrow ^{199}_{79}Au\,(3{,}3\text{ d}) + e^-$$

$$^{199}_{79}Au \rightarrow ^{199}_{80}Hg + e^-.$$

Die Perioden von 18 h und 3,3 d im Platinteil sind durch Annahme eines isomeren Platinisotops zu erklären:

$$^{196}_{78}Pt + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{197}_{78}Pt \qquad (18\text{ h, }3{,}3\text{ d})$$

$$^{197}_{78}Pt \rightarrow ^{197}_{79}Au + e^-.$$

Bei Verwendung schneller Neutronen traten eine Reihe von Perioden von 30 min bis zu mehr als 5 d auf. Mit einer Ausnahme, wo ein aktives — Gold- — Isotop vorzuliegen schien, sprachen chemische Untersuchungen für das Vorhandensein aktiver Platinisotope. Eine schwache Periode schien von Positronen begleitet zu sein, alle anderen waren anscheinend mit Elektronenemission verbunden.

Die Emission von α-Teilchen konnte in keinem Fall beobachtet werden.

Pool u. a. (303) hatten eine starke, mit Elektronenemission verbundene Aktivität von 1,8 h und eine schwache Aktivität von 3 d beobachtet. Diese Daten stimmen mit den Ergebnissen von McMillan u. a. (339) bzw. früheren Ergebnissen überein.

Eine Aktivität mit der Halbwertszeit von etwa 1 s war nach Nahmias u. a. (302) und Alvarez (365) nicht vorhanden.

79. *Au.* Die bereits bekannte Goldaktivität wurde durch neuere Messungen bestätigt. McMillan u. a. (339) erhielten bei Verwendung schneller und langsamer Neutronen eine Periode von 2,7 d, Pool u. a. (303) eine solche von 2,5 d. Die Umwandlung sollte gemäß:

$$^{197}_{79}Au + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{198}_{79}Au$$

$$^{198}_{79}Au \rightarrow ^{198}_{80}Hg + e^-$$

verlaufen.

Für die obere Grenze der Elektronenenergie wurde ein von dem bisherigen abweichender Wert von $0{,}78 \cdot 10^6$ eV angegeben (339).

Die schon früher beobachtete γ-Strahlung wurde zu $0{,}46 \cdot 10^6$ eV gemessen (339).

Schnelle Neutronen riefen in den Versuchen von McMillan u. a. (339) zwei weitere Perioden von 13 h und 4–5 d hervor. Als aktive Isotope erwiesen sich auf chemischem Wege Goldisotope. Beide Aktivitäten konnten wiederum nur durch die Annahme eines isomeren Goldisotops erklärt werden:

$$^{197}_{79}Au + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{196}_{79}Au\,(13\text{ h, }4\text{–}5\text{ d}) + ^{1}_{0}n + ^{1}_{0}n$$

$$^{196}_{79}Au \rightarrow ^{196}_{80}Hg + e^-.$$

Eine Emission von α-Teilchen wurde in keinem Fall beobachtet.

Pool u. a. (303) fanden eine weitere, schwache Aktivität von 17 min, während Nahmias u. a. (302) und Alvarez (365) vergeblich nach einer solchen der Halbwertszeit von etwa 1 s suchten.

80. *Hg.* Quecksilber zeigte bei Verwendung schneller Neutronen eine mit Elektronenemission verbundene Aktivität von 43 ± 1 min nach McMillan u. a. (339) und Heyn (329), von 45 min nach Pool u. a. (303). Als aktiver Bestandteil dieser Aktivität wurde chemisch ein Quecksilberisotop festgestellt (329, 339). Da auch eine Emission von α-Teilchen nicht beobachtet werden konnte, mußte als Umwandlungsprozeß:

$$^{204}_{80}Hg + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{203}_{80}Hg + ^{1}_{0}n + ^{1}_{0}n$$

$$^{203}_{80}Hg \rightarrow ^{203}_{81}Te + e^-$$

gelten.

Die obere Grenze der Elektronenenergie wurde zu $0{,}42 \cdot 10^6$ eV, die mit dieser Aktivität auftretenden γ-Strahlen zu $0{,}07$–$0{,}24 \cdot 10^6$ eV gemessen.

Außerdem beobachteten McMillan u. a. (339) eine schwache, auf ein aktives Quecksilberisotop zurückzuführende Aktivität von 25 h, während Nahmias und Walen (302) und Alvarez (365) vergeblich nach einer Periode von etwa 1 s suchten.

81. *Tl.* Von den beiden früher angegebenen Thalliumperioden konnte in neueren Untersuchungen nur eine bestätigt werden. In Einklang mit dem früheren Wert von 4 min maß Hevesy (329) 4,1 min und Pool u. a. (303) 5 min. Letztere fanden eine weitere, sehr schwache Aktivität von 50 min.

Eine Periode von etwa 1 s ist nach Nahmias u. a. (302) und Alvarez (365) nicht vorhanden.

82. *Pb.* Die Halbwertszeit der schon früher beobachteten Bleiaktivität wurde von Pool u. a. (303) bestimmt. Sie fanden zwei schwache, mit Elektronenemission verbundene Perioden von 5 min und 1,5 h. In Übereinstimmung mit einer früheren Beobachtung hatte Blei keine Periode von etwa 1 s; Nahmias u. a. (302) und Alvarez (365).

83. *Bi.* Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen konnten Pool u. a. (303) bei Wismut keine Aktivität finden, während Nahmias und Walen (302) nur die Periode von etwa 1 s nicht beobachten konnten.

90. *Th.* Für die Aktivierung des Thoriums bestanden nach früheren Untersuchungen folgende drei Umwandlungsmöglichkeiten:

1. $^{232}_{90}Th + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{233}_{90}Th$

$$^{233}_{90}Th \xrightarrow[25\ \mathrm{min}]{} {}^{233}_{91}Pa \xrightarrow[2{,}5\ \mathrm{min}]{} {}^{233}_{92}U\ ,$$

2. $^{232}_{90}Th + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{229}_{88}Ra + {}^{4}_{2}\alpha$

$$^{229}_{88}Ra \xrightarrow[1\ \mathrm{min}]{} {}^{229}_{89}Ac \xrightarrow[3{,}5\ \mathrm{h}]{} {}^{229}_{92}Th \longrightarrow {}^{229}_{91}Pa \longrightarrow {}^{225}_{89}Ac \xrightarrow[42\ \mathrm{h}]{} Th\ ,$$

3. $^{232}_{90}Th + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{232}_{89}Ac + {}^{1}_{1}H$

$$^{232}_{89}Ac \xrightarrow[12\ \mathrm{min}]{} {}^{232}_{90}Th\ .$$

Braun, Preiswerk und Scherrer (340) bestimmten die Energie der in dem zweiten Umwandlungsprozeß freiwerdenden α-Teilchen zu mehr als $9 \cdot 10^6$ eV. Von zwei, bisher nicht beobachteten Perioden berichteten Pool u. a. (303), nämlich von einer starken, mit Elektronenemission verbundenen Periode von 5 min und einer starken Periode von 1,4 h.

92. *U.* Die bei der Aktivierung von Uran vorliegenden Verhältnisse haben auch durch neuere Untersuchungen keineswegs geklärt werden können.

Pool u. a. (303a) bestätigten mit der Beobachtung zweier sehr starker, mit Elektronenemission verbundener Perioden von 26 min und 13 h zwei frühere Versuchsergebnisse.

Sie fanden jedoch außerdem eine neue, ebenfalls sehr starke und von Elektronen begleitete Periode von 4 h, die mit der von Curie und Savitch (341) beobachteten Periode von 3,5 h identisch sein wird. Letztere ordneten diese Periode dem Prozeß:

$$^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{235}_{90}Th + {}^{4}_{2}\alpha$$

zu. Im übrigen konnten sie die Ergebnisse von Hahn und Meitner bestätigen. Hahn und Meitner hatten diesen Prozeß bereits angenommen, als sie die gesamten Beobachtungsergebnisse über die Aktivität des Urans den drei Prozessen:

I. $^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{235}_{90}Th + {}^{4}_{2}\alpha$

$$^{235}_{90}Th \rightarrow {}^{235}_{91}Pa \rightarrow {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{231}_{93}Eka\text{-}Re \rightarrow {}^{231}_{91}Pa\ .$$

II. $^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{237}_{92}U + {}^{1}_{0}n + {}^{1}_{0}n$

$$^{237}_{92}U \rightarrow {}^{237}_{93}Eka\text{-}Re \rightarrow {}^{237}_{94}Eka\text{-}Os \rightarrow {}^{237}_{95}Eka\text{-}Ir\ ,$$

III. $^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{239}_{92}U$

$$^{239}_{92}U \rightarrow {}^{239}_{93}Eka\text{-}Re \rightarrow {}^{239}_{94}Eka\text{-}Os \rightarrow {}^{239}_{95}Eka\text{-}Ir$$

zuschrieben.

Wenn nun von Curie und Savitch der Prozeß I für die neu gefundene Periode von 3,5 h in Anspruch genommen wird, so steht dies im Einklang mit dem ersten der neueren Ergebnisse von Meitner, Hahn und Straßmann (343).

1. Meitner u. a. konnten ein aktives Thorisotop nicht mehr auffinden, so daß sie die Bildung des mit der Halbwertszeit von 23 min zerfallenden Uranisotops dem Prozeß:

$$_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}_{92}U \rightarrow {}_{93}Eka\text{-}Re$$

zuordnen und die Deutung gemäß dem obigen Prozeß I fallen lassen. Damit entfällt auch die bisherige Schwierigkeit, daß trotz der Abspaltung eines α-Teilchens der Prozeß I nur bei langsamen Neutronen eintrat.

2. Der abgeänderte Prozeß I wurde nur durch verlangsamte Neutronen (1–100 eV) angeregt. Es liegt ein Resonanzprozeß bei 254 ± 10 eV vor.

Für die Prozesse II und III sind die unverlangsamten Neutronen (10^5–10^7 eV) und die thermischen Neutronen (kleiner als 1 eV) verantwortlich. Im Zwischengebiet existieren keine Resonanzstellen.

3. Wegen der Größe der Wirkungsquerschnitte erscheint eine Herleitung von ${}^{234}_{92}U$ oder ${}^{235}_{92}U$ ausgeschlossen. Alle drei Prozesse gehen deshalb, wie bisher vermutet, von ${}^{238}_{92}U$ aus, wobei durch Neutronenanlagerung der Kern ${}^{239}_{92}U$ gebildet wird.

Es traten somit an die Stelle der bisher angenommenen Umwandlungsgleichungen folgende drei Prozesse:

$$\text{I.} \quad {}^{239}_{92}U - 23\,\text{m} \rightarrow {}^{239}_{93}Eka\text{-}Re$$

$$\text{II.} \quad {}^{238}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{239}_{92}U - 40\,\text{s} \rightarrow {}^{239}_{93}Eka\text{-}Re - 16\,\text{m} \rightarrow {}^{239}_{94}Eka\text{-}Os$$

$$\text{III.} \quad {}^{239}_{92}U - 10\,\text{h} \rightarrow {}^{239}_{95}Eka\text{-}Ir$$

$$\text{III.} \quad {}^{239}_{92}U - 10\,\text{s} \rightarrow {}^{239}_{93}Eka\text{-}Re - 2{,}2\,\text{m} \rightarrow {}^{239}_{94}Eka\text{-}Os$$

$$- 59\,\text{m} \rightarrow {}^{239}_{95}Eka\text{-}Ir - 3\,\text{d} \rightarrow {}^{239}_{96}Eka\text{-}Pt$$

$$- 2{,}5\,\text{h} \rightarrow {}^{239}_{97}Eka\text{-}Au\,.$$

Meitner u. a. führten zu diesem Ergebnis folgendes aus: „Die beiden Prozesse II und III laufen zueinander parallel, d. h. je zwei entsprechende Glieder müßten ‚isomere' Kerne darstellen. Diese können sich nur in ihrem Anregungszustand unterscheiden, und der β-Zerfall muß eintreten, bevor durch Ausstrahlung der eine Anregungszustand in den anderen übergeht, d. h. der eine Zustand muß metastabil sein. v. Weizsäcker hat in einer theoretischen Untersuchung gezeigt, daß, wenn ein Kern in zwei Anregungsstufen vorkommt, die sich durch genügend große Differenzen im Impulsmoment voneinander unterscheiden, der höher angeregte Zustand metastabil sein kann, so daß damit die Möglichkeit β-labiler, isomerer Kerne gegeben wäre.

Es könnte also Prozeß III von dem metastabilen Zustand des ${}^{239}_{92}U$ ausgehen, dessen Impulsmoment erheblich größer sein müßte als das des ${}^{239}_{92}U$, das zum Prozeß II führt. Damit besteht die Möglichkeit, daß an irgendeiner Stelle (jenseits des *Eka-Pt*) der Prozeß III in den Prozeß II übergeht.

Dadurch, daß nach unseren Untersuchungen Prozeß I ebenfalls durch Anlagerung eines Neutrons ohne Abspaltung eines α-Teilchens eingeleitet wird und auf ${}^{239}_{92}U$ zurückgeführt werden muß, sind die Schwierigkeiten der Deutung erhöht worden. Denn der Kern ${}^{239}_{92}U$ des Prozesses I ist isomer zu den Kernen der Prozesse II und III, unterscheidet sich aber dadurch, daß er nur durch einen Resonanzprozeß gebildet werden kann."

Für die Uranaktivität sind noch folgende Einzelergebnisse von Interesse:

Meitner (342) maß die obere Energiegrenze des β-Spektrums der aktiven Isotope:

$_{96}Eka\text{-}Pt$ (2,5 h) zu $0{,}7 \cdot 10^6$ eV,
$_{94}Eka\text{-}Os$ (59 min) zu $0{,}6 \cdot 10^6$ eV und
$_{93}Eka\text{-}Re$ (16 min) zu $3{,}2 \cdot 10^6$ eV.

Die Zahl der bei dem Zerfall des *Eka-Re*-Isotops entstehenden β-Teilchen war doppelt so groß wie die bei dem *Eka-Os*-Isotop. Die γ-Strahlung war dafür von geringerer Intensität. Meitner u. a. (343) gaben nunmehr für die früher zu 10–12 h gemessene Periode den Wert von 5,7 h an. Außerdem vermuteten sie, daß der Kern ${}^{239}_{95}Eka\text{-}Ir$ mit der Zerfallszeit von 66 h in den Kern ${}^{239}_{96}Eka\text{-}Pt$ übergeht, das seinerseits mit einer Halbwertszeit von 2,5 h zerfällt.

Ein über eine lange Zeit bestrahltes Uranpräparat, das sorgfältig von Uran nach der Bestrahlung gereinigt wurde, zeigte eine α-Aktivität, über deren Zuordnung jedoch noch nichts gesagt werden kann.

Die Ergebnisse von Meitner, Hahn und Straßmann wurden von Abelson (367) bestätigt, der außerdem feststellte, daß

1. die Aktivierung des Urans mit Neutronen thermischer Geschwindigkeit zu zwei gegetrennten, von Uran ausgehenden Zerfallsketten führte,

2. alle emittierten Teilchen Elektronen waren,
3. keine α-aktiven Isotope vorhanden waren und
4. eine weitere Periode von 17 h existierte.

Die Elemente 93 und 94 haben die Namen Ausonium bzw. Hesperium erhalten.

Schlußbetrachtung zur künstlichen Radioaktivität durch Neutronen

Allgemeine Fragen bei der Aktivierung durch Neutronen, besonders durch den Prozeß der Anlagerung des Neutrons, sind von Amaldi (359b) in einem zusammenfassenden Bericht ausführlich behandelt worden.

In Ergänzung zu vorstehend mitgeteilten Daten über die durch Neutronen erzielten Aktivitäten der einzelnen Elemente müssen noch einige Ergebnisse allgemeiner Art erwähnt werden.

1. Pool, Cork und Thornton (344) untersuchten die Wirksamkeit der durch Beschießung mit Deutonen aus Lithium, Bor, Beryllium und Kupfer ausgelösten Neutronen zur Aktivierung verschiedener Elemente und erhielten folgende relativen Ergebnisse für die Stärke ihrer Aktivitäten:

Neutronen aus	$^{13}_{7}N$ 11 min	$^{15}_{8}O$ 2,1 min	$^{106}_{47}Ag$ 26 min	$^{108}_{47}Ag$ 2,3 min	$^{62}_{29}Cu$ 10 min	$^{64}_{29}Cu$ 12 h	$^{66}_{29}Cu$ 5 min
$Li + {}^{2}_{1}D$	100	60	100	50	100	6	0
$B + {}^{2}_{1}D$	27	15	42	43	73	4	0
$Be + {}^{2}_{1}D$	0	72	0	28	0	3	14
$Cu + {}^{2}_{1}D$	18	100	0	3	0	2	4

Der Prozeß $Be + {}^{2}_{1}D$ wurde von Bertl, Fürth, Oboril und Sitte (333, 348) benutzt, um mit geringen Deutonenenergien zu einer wirksamen Neutronenquelle zu gelangen. Dabei wird die durch die niedrige Deutonenenergie bedingte geringe Zahl an Neutronen dadurch ausgeglichen, daß diese Neutronen infolge ihrer geringen Geschwindigkeit in vielen Fällen eine erhöhte Wirksamkeit haben. In Silber konnten sie auch dann eine Aktivität erzeugen, wenn die Deutonen, die die Neutronen aus Beryllium befreiten, nur eine Energie von 25 kV hatten.

Beim Vergleich mit einer Radium-Beryllium-Neutronenquelle mit bekannten Gehalt an Radium stellten sie fest, daß ein Radium-Berylliumgemisch mit 6,8 mg Radium erforderlich ist, um mit seinen schnellen Neutronen in Silber eine Aktivität von derselben Intensität hervorzurufen, wie es durch Verwendung der durch den Prozeß $Be + {}^{2}_{1}D$ ausgelösten langsamen Neutronen der Fall ist.

Booth und Hurst (307) verglichen die Zahl der aus verschiedenen Neutronenquellen heraustretenden Neutronen und fanden, daß sich die Neutronenzahl bei den Neutronenquellen $(D + D) : (Ra + Be) : (Radon + Be)$ wie 7 : 1 : 1,2 verhält.

2. Zur Deutung der vielen Aktivitäten hatte Heyn den Prozeß $(n, 2n)$ einführen müssen. Die Berechtigung dazu kann daraus abgeleitet werden, daß bei der Bestrahlung mit γ-Strahlen, also bei dem Prozeß (γ, n), oftmals dieselben Aktivitäten entstehen wie bei der Beschießung mit Neutronen, und daß sich die durch Neutronen erzielten Aktivitäten nur durch die Annahme des $(n, 2n)$-Prozesses auf dasselbe aktive Isotop zurückführen lassen, das für dieselbe Aktivität bei Bestrahlung mit γ-Quanten verantwortlich ist. Dem $(n, 2n)$-Prozeß schreibt Rotblat (325) eine bisher übersehene Wirkung zu. Die Herabsetzung der Neutronengeschwindigkeit durch einen Absorber wurde nur auf unelastische Streuprozesse der Neutronen an den Kernen des Absorbers zurückgeführt. Es ist aber durchaus möglich, daß in dem Absorber derartige $(n, 2n)$-Prozesse auftreten, womit also neben der Geschwindigkeitsminderung die Zahl der Neutronen erhöht wird, und so die beobachtete Zunahme ihrer Wirksamkeit nach Durchlaufen eines Absorbers erklärt werden muß.

Der nur für langsame Neutronen festgestellte Einfangsprozeß (n, γ) konnte von Reddemann (360) bei den Elementen Aluminium, Kupfer, Brom, Silber und Jod auch für schnelle Neutronen beobachtet werden.

3. Bakker (356) maß die Wirksamkeit langsamer Neutronen an der Erzeugung der 35-min-Chlor-, 18-min-Brom-, 4-h-Brom-, 36-h-Brom-, 25-min-Jod- und 2,5-h-Manganaktivität zu 1, 16, 7 (0,6), 3 und 6 Proz. der gesamten Neutronenzahl. Damit ergaben sich für die betrachteten Elemente Mindestwerte für die Wirkungsquerschnitte von 0,1, 3,2, 1,3, (0,1), 3,4 und $6{,}8 \cdot 10^{-24}$ cm², die kleiner sind als die Werte, die von Dunning angegeben worden waren.

Der Wirkungsquerschnitt war früher als umgekehrt proportional der Neutronengeschwindigkeit angesehen worden. Booth und Hurst (307) stellen überraschenderweise fest, daß der Wirkungsquerschnitt bei schnellen Neutronen nur wenig kleiner ist, wie nachstehende Ergebnisse zeigen:

Element	Ausschläge pro min	
	Schnelle $\frac{1}{0}n$ aus $D + D$	langsame $\frac{1}{0}n$ aus $Ra + Be$
In (54 min)	330	460
Ba (80 min)	14	37
Br (4,2 h)	57	350
Br (18 min)	170	510
J (25 min)	530	960

Die Neutronenquelle $D + D$ war durch Division der mit ihr erhaltenen Ausschläge durch 7 auf gleiche Stärke wie die Quelle $(Ra + Be)$ gebracht worden.

4. Die Methode, feste radioaktive Teilchen von der Gasphase durch Niederschläge in einem elektrischen Feld zu trennen, wurde für künstlich und natürlich radioaktive Substanzen verwendet. Sie ist gebunden an die Gegenwart elektrischer Ladungen auf den Teilchen, was bei Verwendung langsamer Neutronen zur Aktivierung nicht unbedingt der Fall zu sein braucht.

Die Erscheinung, daß alle Staubteilchen aus einem Gas entfernt werden, das durch ein Volumen strömt, in dem sich ein heißer Körper befindet, haben Paneth und Rosenblum (347) zu einer Methode zur Trennung von radioaktiven Substanzen verwendet.

Ein schwacher Luftstrom, der Radiumemanation enthielt, ging durch eine Einrichtung hindurch, die aus einem Draht und zwei parallelen Glasplatten in 0,1 mm Abstand vom Draht bestand. Wurde der Draht auf 200° C erhitzt, so schlugen sich 67 Proz. des aktiven Bestandteiles auf die Glasplatten nieder in der Form eines geraden, zum Draht parallelen Striches.

5. Versuche, die als Zertrümmerung des Neutrons in Proton und Elektron gedeutet wurden, waren früher von Kikuchi u. a. unternommen worden, wobei die Wirkungsquerschnitte des Zertrümmerungsprozesses bei 10^{-24} bis 10^{-25} cm² liegen sollten. Gilbert, Smith und Fremlin (346) konnten einen derartigen Vorgang bei der Beschießung von Neutronen mit Deutonen nicht bestätigen. Der Wirkungsquerschnitt der Neutronenzertrümmerung müßte nach ihren Messungen kleiner als $3 \cdot 10^{-26}$ cm² sein.

6. Wenn es ein negatives Proton geben sollte, so müßte es nach Nahmias und Walen (302) in dem Prozeß:

$$^{11}_{5}B + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{11}_{6}C + ^{1}_{-1}p$$

entstehen, wobei die Bildung des negativen Protons an dem gleichzeitig entstehenden aktiven, mit der Halbwertszeit von 21,3 min zerfallenden Kohlenstoffkern erkenntlich wäre. Auch nach Anreicherung der aktiven Substanz auf chemischem Wege war ein Nachweis dieses Kohlenstoffisotops nicht möglich. Ebenso erfolglos waren spätere Versuche von Nahmias (345).

V. Künstliche Radioaktivität durch Elektronen

Die Erfolglosigkeit der bisherigen Versuche, Radioaktivität durch Elektronen zu erzielen, liegt nach Saha (234c) darin begründet, daß bei den schnellsten, bisher verwendeten Elektronen von 800 kV die de Broglie-Wellenlänge des Elektrons nahezu 100mal größer ist als der Durchmesser des Kerns. Zum Eintritt in den Kern benötigen die Elektronen eine Energie von $5 \cdot 10^{9}$ eV; derartig energiereiche Elektronen kommen bisher nur in den Höhenstrahlen vor.

VI. Künstliche Radioaktivität durch Positronen

Thomson und Paxton (349) führten Versuche durch, in B_2O_3, *Be*, *MgO*, *LiF*, C u. a. durch Beschießung mit Positronen künstliche Radioaktivität zu erzeugen. Die zu untersuchenden Substanzen befanden sich in einem Geiger-Müller-Zählrohr. Die Positronen entstammten der Paarerzeugung in Blei durch die γ-Strahlen des *RaTh*. Eine Aktivität konnte in keinem einzigen Fall beobachtet werden.

VII. Künstliche Radioaktivität durch Höhenstrahlen

Clay und van Tijn (359a) beobachteten in Eisen eine Aktivität von 8,6 min, für die sie als Ursache die Einwirkung der Höhenstrahlung annahmen. Ramsay, C. G., und D. D. Montgomery (373) konnten jedoch eine derartige Aktivität nicht bestätigen.

VIII. Künstliche Radioaktivität durch γ-Strahlen

Die Ergebnisse der Aktivierung der Elemente durch γ-Strahlen haben vielfach zur Identifizierung der aktiven Isotope der einzelnen Aktivitäten beigetragen.

8. *O*. In Sauerstoff wurde neuerdings von Chang, Goldhaber und Sagane (304) eine schwache Aktivität erzielt, deren Halbwertszeit 2 min betrug, und die dem Prozeß:

$$^{16}_{8}O + \gamma \rightarrow ^{15}_{8}O + ^{1}_{0}n$$

zuzuordnen war.

15. *P*. Bothe und Gentner (350) maßen die Halbwertszeit der von ihnen entdeckten Phosphoraktivität zu $3 \pm 0{,}2$ min in Übereinstimmung mit ihrem früheren Ergebnis.

21. *Sc*. Bei Skandium fand Gentner (360a) eine sehr starke Aktivität von $3{,}9 \pm 0{,}4$ h Halbwertszeit. Sie wurde mit der bereits bekannten und auf das Isotop $^{43}_{21}Sc$ zurückgeführten Periode von 4,0 h identifiziert. Als Umwandlungsprozeß ergab sich demnach:

$$^{45}_{21}Sc + \gamma \rightarrow ^{43}_{21}Sc + ^{1}_{0}n + ^{1}_{0}n\,.$$

Ein derartiger Prozeß, als Kernphotoeffekt mit der Emission zweier Neutronen zu deuten, ist bisher noch nicht beobachtet worden.

20. *Cu.* Chang u. a. (304) und Bothe und Gentner (350) bestimmten die Halbwertszeit der Kupferaktivität in Einklang mit früheren Ergebnissen und denen bei der Beschießung mit Neutronen zu $10{,}5 \pm 0{,}3$ min.

Letztere setzten als Umwandlungsprozeß an:

$$^{63}_{29}Cu + \gamma \rightarrow {}^{62}_{29}Cu + {}^{1}_{0}n\,,$$

wobei das aktive Kupferisotop chemisch nachgewiesen werden konnte.

Die den Isotopen $^{64}_{29}Cu$ und $^{66}_{29}Cu$ zugeordneten Perioden von 16 h bzw. 6 min traten nicht auf.

Als Wirkungsquerschnitt ergab sich der Wert von $5 \cdot 10^{-26}$ cm².

30. *Zn.* Die Halbwertszeit der früher beobachteten Zinkaktivität wurde von Bothe u. a. (350) zu $38 \pm 1{,}3$ min bestimmt und als Umwandlungsgleichung:

$$^{64}_{30}Zn + \gamma \rightarrow {}^{63}_{30}Zn + {}^{1}_{0}n$$

angenommen.

31. *Ga.* Bei Gallium wurde die 20-min-Periode von Bothe u. a. (350), die 60-min-Periode von Bothe u. a. (350) und von Chang u. a. (304) bestätigt.

Als aktives Isotop der langen Periode wiesen erstere ein Galliumisotop chemisch nach. Bei der langen Periode wird es sich um das Isotop $^{68}_{31}Ga$, bei der kurzen um das Isotop $^{70}_{31}Ga$ gehandelt haben.

Dementsprechend mußte das bei der Beschießung mit Neutronen gefundene Galliumisotop mit der Zerfallszeit von 23 h, das hier nicht auftrat, $^{72}_{31}Ga$ sein.

35. *Br.* Zu den beiden bereits bekannten Perioden der Bromaktivität von:

1. $5 \pm 0{,}5$ min nach Chang u. a. (304) und Bothe u. a. (350, 351). – Sie war früher zu 3,5 min gemessen und dem Isotop $^{78}_{35}Br$ zugeordnet worden und
2. $16 \pm 0{,}9$ min nach Bothe und Gentner (350). – Diese Periode wurde früher mit 18 min angegeben, mit demselben Wert, der sich auch bei Beschießung von Brom mit Neutronen zeigte –

war durch neuere Untersuchungen die weitere Periode von

3. $4{,}5 \pm 0{,}1$ h (350) hinzugekommen. Sie wurde mit der 4,2-h-Periode des Broms bei Beschießung mit Neutronen identifiziert (351).

Für alle drei Perioden wurden Bromisotope als aktive Bestandteile chemisch sichergestellt (350).

Blewett (234d) hatte früher angenommen, daß noch ein drittes, stabiles Bromisotop, $^{77}_{35}Br$ oder $^{82}_{35}Br$, vorhanden sei, dessen Häufigkeit kleiner als $^1/_{3000}$ der Häufigkeit der beiden anderen stabilen Isotope sein müßte. Bothe und Gentner (351) konnten dagegen durch Annahme eines isomeren, aktiven Bromisotops alle bei Brom beobachteten Perioden erklären.

Die beiden für die 16-min- und 4,5-h-Periode verantwortlichen aktiven Bromisotope müssen gleichzeitig eine größere Masse haben als das leichteste stabile Bromisotop – denn die beiden durch sie hervorgerufenen Perioden entstanden auch durch Anlagerung eines Neutrons – und umgekehrt eine kleinere Masse als das schwerste stabile Isotop mit der größten Masse – denn die beiden Perioden wurden auch durch Neutronenabspaltung verursacht. Da von Brom nur die Isotope $^{79}_{35}Br$ und $^{81}_{35}Br$ als stabil bekannt sind, müssen also die aktiven Isotope der beiden Perioden $^{80}_{35}Br$ sein, d. h. der Kern $^{80}_{35}Br$ ist isomer.

Während die beiden Perioden von 16 min und 4,5 h also dem isomeren Kern $^{80}_{35}Br$ zugeschrieben werden müssen, kann die bei Beschießung mit Neutronen auftretende Periode von 36 h dem Kern $^{82}_{35}Br$ zugeordnet werden.

42. *Mo.* Die früher mit 17 ± 1 min angegebene Halbwertszeit der Molybdänaktivität ist von Bothe u. a. (350) bestätigt, wobei das aktive Isotop als Molybdänisotop chemisch festgestellt wurde.

47. *Ag.* Die Perioden der Silberaktivität sind von Bothe u. a. (350) zu 2,3 min und $24 \pm 1{,}2$ min gemessen, wobei als aktiver Bestandteil der langen Periode ein Silberisotop chemisch nachgewiesen wurde. Der Wert für die lange Periode stimmte mit den Ergebnissen von Chang u. a. (304) und mit früheren Daten überein.

49. *In.* Die Halbwertszeit der Indiumaktivität wurde in Einklang mit der früheren Beobachtung zu 1 min von Chang u. a. (304) bzw. $1{,}1 \pm 0{,}2$ min von Bothe u. a. (350) gemessen. Die bekannten aktiven Indiumisotope mit den Zerfallszeiten von 13 s, 54 min und 3 h traten nicht auf (350). Da nur zwei stabile Indiumisotope vorhanden sind, liegt bei diesem Element ein ähnlicher Fall vor wie bei Brom. Das für die 1,1-min-Periode verantwortliche Isotop könnte $^{112}_{49}In$ oder $^{114}_{49}In$ sein, wahrscheinlich aber letzteres, da das zur Bildung von $^{112}_{49}In$ führende stabile Indiumisotop $^{113}_{49}In$ nur zu 4,5 Proz. vorkommt. In diesem Falle würden sowohl $^{114}_{49}In$ als auch $^{116}_{49}In$ zweifach isomer sein, wenn eine dreifache Isomerie ausgeschlossen wird. Eine eindeutige Zuordnung war jedoch noch nicht möglich.

51. *Sb.* Die Halbwertszeit der Antimonaktivität wurde von Chang u. a. (304) zu dem früheren

Wert von 13 min, von Bothe und Gentner (350) zu $15 \pm 0{,}8$ min gemessen.

Die Periode wird, wie früher bereits vermutet, dem Kern $^{120}_{51}Sb$ zugeschrieben werden müssen.

52. *Te*. Die Telluraktivität hatte auch in den neueren Untersuchungen von Bothe u. a. (350) eine Halbwertszeit von $60 \pm 3{,}5$ min, wie sie bereits früher angegeben worden war.

73. *Ta*. Die früher beobachtete Aktivität des Tantals war wahrscheinlich durch eine Verunreinigung an Molybdän hervorgerufen worden, Bothe u. a. (350).

Schlußbetrachtung zur künstlichen Radioaktivität durch γ-Strahlen

1. Die bisher beobachteten aktiven Umwandlungsprozesse waren von der Form (γ, n).

Prozesse von der Form (γ, p), die in vielen Fällen zu bekannten aktiven Isotopen mit gut beobachtbarer Zerfallszeit führen würden, wurden nicht gefunden.

Ebenso traten auch viele Aktivitäten, die durch einen (γ, n)-Prozeß hätten hervorgerufen werden können, nicht auf.

Die bei der Aktivierung mit γ-Strahlen benutzte Lithium-γ-Strahlung von $17 \cdot 10^6$ eV war also nicht in der Lage, alle energetisch möglichen Umwandlungsprozesse mit gleicher Wahrscheinlichkeit hervorzurufen.

2. Die zur Erzeugung der künstlichen Radioaktivität verwendeten γ-Strahlen und Neutronen wurden in vielen Fällen durch Beschießung verschiedener Elemente mit Protonen- bzw. Deutonenstrahlen gewonnen. Chang, Goldhaber und Sagane (304) untersuchten eingehend, wie sich zur Erzielung starker Aktivitäten die Leistungsfähigkeit einer Beschleunigungsapparatur für Ionenstrahlen am besten ausnutzen läßt, ob durch Erzeugung eines Protonenstrahles und damit einer γ-Strahlung, oder durch Erzeugung eines Deutonenstrahls gleicher Energie – 10–20 μA bei 520 kV – und damit von Neutronen. Die Versuche fielen zugunsten der Neutronen aus. Die Ergebnisse – relative Anfangsintensitäten in willkürlichen Einheiten – sind in nachstehender Tabelle wiedergegeben.

Energie 10^6 eV	γ-Strahlen			Neutronen			Halbwertszeit
	$Li+H$ 17,5	$Be+H$ 6,5	$B+H$ 14	$Li+D$ 13,5	$Be+D$ 4,5	$B+D$ 13	
Bestrahltes Element:							
Sauerstoff	2	—	—	—	—	—	2,1
Kupfer	100	—	—	1200	—	300	10
Gallium	40	—	—	1200	—	500	60
Brom	20	—	—	500	—	600	5
Silber	25	—	—	700	—	300	24
Indium	35	—	—	300	—	100	1
Antimon	10	—	—	2000	—	300	13

3. Paneth und Glückauf (352) untersuchten mit der von ihnen entwickelten mikroanalytischen Methode den Kernphotoeffekt an Beryllium, der entweder nach

$$^9_4Be + \gamma \rightarrow {}^8_4Be + {}^1_0n$$

oder nach

$$^9_4Be + \gamma \rightarrow 2\,{}^4_2\alpha + {}^1_0n$$

verlaufen kann.

Bisher hatte nicht festgestellt werden können (siehe $Li+D$), ob beide Prozesse auftreten oder welcher von beiden. Paneth u. a. fanden, daß das Hauptprodukt der Bestrahlung Helium war.

Schlußbetrachtung zur künstlichen Radioaktivität

1. Aus der Diracschen Theorie des Positrons und der Fermischen Theorie des β-Zerfalls folgt, daß Kerne, die radioaktiv unter Positronenemission sind, sich auch dadurch umwandeln können, daß sie, anstatt ein Positron zu emittieren, ein Elektron der K-Schale einfangen. Dieser Prozeß wäre durch die Röntgenstrahlung bei der Ersetzung des fehlenden K-Elektrons nachzuweisen. Jacobsen konnte jedoch am Kern $^{48}_{21}Sc$ keine Anzeichen eines solchen Einfangprozesses beobachten. Alvarez (353) fand bei den aktiven Antimonisotopen ebenfalls keine Röntgenstrahlung, wohl aber bei dem durch Deutonenbombardement des Titans entstehenden Vanadiumisotop von 16 d Halbwertszeit. Die beobachtete Röntgenstrahlung entsprach der Ti-K_α-Linie.

2. Nahmias und Walen (302, 355) stellen die Häufigkeit der radioaktiven Isotope in Abhängigkeit von der Halbwertszeit für Elektronen- und Positronenemission dar (Fig. 1).

Die Kurve ist nahezu eine Gaußsche Verteilungskurve. Das Maximum befindet sich in dem gut beobachtbaren Gebiet von $1–10^7$ s.

3. Nach den Untersuchungen von Alichanow, Alichanian und Dzelepow (262) hängt

die Form des β-Spektrums von der Atomnummer des betreffenden aktiven Isotops ab. Bei *Ra-E* liegt das Maximum der Energieverteilung bei sehr kleinen Werten und die Zahl der langsamen Elektronen ist so groß, daß sich bei einer Extrapolation gegen die Energie Null noch eine erhebliche Zahl von Elektronen ergibt. Bei *Ra-Al* dagegen liegt das Maximum etwa bei dem vierten Teil des oberen Grenzwertes; die Zahl der langsamen Elektronen ist gering und bei der Energie Null ebenfalls Null.

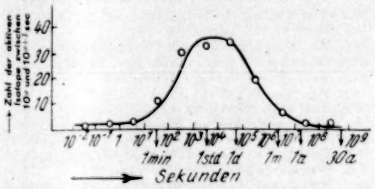

Fig. 1.

Der Unterschied ist dadurch bedingt, daß die den Kern verlassenden Elektronen erst das Feld des positiven Kernes zu durchlaufen haben, also erheblich abgebremst werden, wobei das Feld bei schweren Kernen größer ist. Es werden also nur die Elektronen das Atom verlassen, die über eine zur Überwindung des Kernfeldes ausreichende Geschwindigkeit verfügen. Es ist im Endergebnis also so, als ob die Ordinate der Energieverteilung um einen bestimmten, von der Größe des Kernfeldes abhängenden Betrag zum Maximum hin verschoben, also von dem β-Spektrum ein Teil langsamer Elektronen abgeschnitten wird. Bei leichten Kernen ist dieser Einfluß des Kernfeldes gering und das aufgenommene β-Spektrum ist angenähert gleich dem „wahren" Spektrum.

Für leichte Kerne kann also auch ein Unterschied zwischen den Spektren von Elektronen und Positronen nicht bestehen, wohl aber für schwere Kerne. Tatsächlich ist das Positronenspektrum des *Ra-P* kaum verschieden von dem Elektronenspektrum des *Ra-Al*, wohl aber von dem des *Ra-E*.

Das Elektronenspektrum des Europiums mit einer großen Zahl von Elektronen sehr geringer Geschwindigkeit ist eine Bestätigung obiger Befunde.

4. Mitchell (354) prüfte die für radioaktive Substanzen geltende Beziehung zwischen der Halbwertszeit und der maximalen Energie des β-Spektrums an Hand folgender Ergebnisse.

Die Werte für die maximalen Energien wurden durch Extrapolation gemäß der Konopinski-Uhlenbeckschen Theorie erhalten.

Elektronenstrahlen

Aktives Isotop	Aktiver Prozeß	Halbwertszeit	Max Energie in 10^6 eV
^{24}Na	(d, p)	15,5 h	1,95
^{31}Si	(d, p)	145 min	2,05
^{32}P	(d, p)	14,5 d	2,15
^{38}Cl	(d, p)	40 min	1,5 und 6,1 (2 Spektren)
^{40}A	(d, p)	108 min	1,5 und 5
^{42}K	(d, p)	12,2 h	1,4 und 4,4
^{12}B	(d, p)	0,02 s	13
^{8}Li	(d, p)	0,5 s	11,2
^{20}F	(d, p)	12 s	5,9
^{16}N	(d, p)	9 s	6,5
^{56}Mn	Neutronenanlagerung	2,5 h	1,2 und 2,9
^{76}As	,,	26 h	1,1 und 3,4
In	,,	54 min	1,45
In	,,	13 s	3,2
Ag	,,	22 s	2,8
Rh	,,	44 s	2,8
Dy	,,	2,5 h	1,4
^{64}Cu	(d, p)	12,8 h	0,83

Positronenstrahler

^{13}N	(d, n)	10,3 min	1,45
^{17}F	(d, n)	1,16 min	2,4
^{15}O	(d, n)	126 s	2,0
^{11}C	(d, n)	21 min	1,3
^{63}Cu	(d, p)	12,8 h	0,79
^{34}Cl	(d, n)	33 min	3,0

Obige Daten der Aktivitäten wurden in nachstehende Fig. 2 eingetragen. Die drei ebenfalls

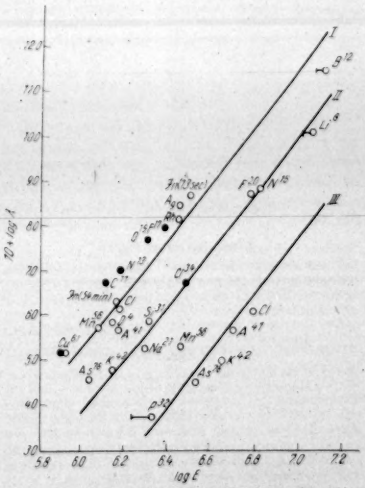

Fig. 2. Sargent-Kurven für künstlich-radioaktive Elemente. [Nach Mitchell (354)]. • e^+-Strahler, ○ e^--Strahler).

eingezeichneten Geraden hatten sich aus der Theorie des β-Zerfalls ergeben.

Der Unterschied zwischen den extrapolierten und beobachteten Werten der maximalen Energie ist bei den Kernen ^{12}B, ^{8}Li und ^{32}P dargestellt. Außer bei ^{32}P sind die Unterschiede nicht groß. Bei ^{32}P liegt der extrapolierte Grenzwert besser zu den Kurven. Im allgemeinen herrscht recht gute Übereinstimmung, so daß die Konopinski-Uhlenbeckschе Theorie doch wohl richtige Werte für die maximale Energie liefert.

Die drei Kurven unterscheiden sich durch die Größe der Spinänderung, während des β-Zerfalls. Für Kurve I ist $\Delta i = 0$, für Kurve II $\Delta i = 1$ und für Kurve III $\Delta i = 2$. Aus der Zugehörigkeit der betreffenden aktiven Kerne zu einer der drei Kurven kann auf die Größe der Spinänderung geschlossen werden. Unter Berücksichtigung der bekannten Spinwerte des Ausgangs- und Endkerns ergibt sich der Spin des aktiven Kerns, wie es für einige Fälle aus nachstehender Tabelle ersichtlich ist:

Ausgangskern			Aktiver Kern			Endkern		
	A	Spin	A	Spin	Δi		A	Spin
$_3Li$	7	3/2	8	(1) (2)	1	$_4Be$	8	?
$_5B$	11	(3/2)	12	(1) (2)	(0) (1)	$_6C$	12	0
$_7N$	15	(1/2)	16	(0) 1	1	$_8O$	16	0
$_9F$	19	1/2	20	(0) 1	1	$_{10}Ne$	20	(0)
$_{11}Na$	23	3/2	24	1 (2)	1	$_{12}Mg$	24	(0)
$_{14}Si$	30	(0) 1	31	(1/2) 3/2	1	$_{15}P$	31	1/2

Die meisten aktiven Kerne, die hier betrachtet werden, sind durch Neutronenanlagerung bzw. durch den Prozeß (d, p) entstanden. Es ist also zu erwarten, daß der Spin dieser aktiven Kerne um den Spin des Neutrons $= 1/2 =$ größer ist.

Literaturverzeichnis

Die Numerierung des Literaturverzeichnisses schließt sich an die der beiden früheren Berichte an.

1934

78a) Curie u. Joliot, Int. Conf. on Physics London 81.

1935

168e) Alichanow, Alichanian u. Dzelepow, Zeitschr. f. Phys. **93**, 361.

1936

234a) De la Cierva, An. esp. Fisica Quim. **34**, 541.
234b) Hevesy u. Levy, Medd. Kopenhagen **14**, Nr. 5, 34.
234c) Saha, Sci. and Cult. **2**, 273.
234d) Blewett, Phys. Rev. **49**, 900.
234e) Burcham u. Goldhaber, Camb. Phil. Soc. Proc. **32**, 632.

1937

257) Eckardt, Ann. d. Phys. **29**, 497.
258) Ridenour, W. J., W. C. Henderson u. White, Phys. Rev. **51**, 1013.
259) Meye, Zeitschr. f. Phys. **105**, 232.
260) Laslett, Phys. Rev. **52**, 529.
261) Chang u. Szalay, Proc. Roy. Soc. (A) **159**, 72.
262) Alichanow, Alichanian u. Dzelepow, Zeitschr. d. UdSSR. **2**, 204.
263) Yu-Yen Sha, Zeitschr. f. Phys. **107**, 111.
264) Hurst u. Walke, Phys. Rev. **51**, 1033.
265) W. J. Henderson, Ridenour, White and M. C. Henderson, Phys. Rev. **51**, 1107.
266) Pollard, Schultz u. Brubaker, Amer. Phys. Soc. Meeting Washington, April 30.
267) Walke, Phys. Rev. **51**, 439.
268) Pollard u. Brasefield, Phys. Rev. **51**, 8.
269) Walke, Phys. Rev. **51**, 1011.
270) Henderson u. Ridenour, Phys. Rev. **52**, 40.
271) Ridenour u. Henderson, Phys. Rev. **51**, 1102.
272) Ridenour u. Henderson, Phys. Rev. **52**, 139.
273) Mann, Phys. Rev. **52**, 405.
274) Snell, Phys. Rev. **51**, 1011.
275) Pool, Cork u. Thornton, Phys. Rev. **52**, 380.
276) Du Bridge, Barnes u. Buck, Phys. Rev. **51**, 995.
277) Du Bridge, Barnes u. Buck, Phys. Rev. **51**, 1012.
278) Barnes, du Bridge, Wiig, Buck u. Strain, Phys. Rev. **51**, 775.
279) Du Bridge, Barnes u. Buck, Phys. Rev. **51**, 955.
280) Barnes, du Bridge, Wiig, Buck u. Strain, Phys. Rev. **51**, 1012.
281) Buck, Strain u. Valley, Phys. Rev. **51**, 1012.
282) Bayley u. Crane, Phys. Rev. **51**, 1012.
283) Bayley u. Crane, Phys. Rev. **52**, 604.
284) Fowler u. Lauritsen, Phys. Rev. **51**, 1103.
285) Rumbaugh, Roberts u. Hafstad, Phys. Rev. **51**, 1106.
286) Snell, Phys. Rev. **51**, 143.
287) Richardson u. Emo, Phys. Rev. **51**, 1014.
288) Newson, Phys. Rev. **51**, 624.
289) Sagane, Rad. Lab. Dep. Phys. Univ. Berkeley, Cal.
290) Walke, Phys. Rev. **51**, 143.
291) Livingood, Fairbrother u. Seaborg, Phys. Rev. **51**, 1010.
292) Darling, Curtis u. Cork, Phys. Rev. **51**, 1010.
293) Thornton, Phys. Rev. **51**, 893.
294) Snell, Phys. Rev. **51**, 1011.
295) Perrier u. Segrè, Nature **140**, 193.
296) Cork u. Thornton, Phys. Rev. **51**, 608.
297) Livingood u. Seaborg, Phys. Rev. **52**, 135.
298) Pool u. Cork, Phys. Rev. **51**, 1010.
299) Bethe, Phys. Rev. **51**, 1004.
300) Williams, Shephard u. Haxby, Phys. Rev. **51**, 888.
301) Veldkamp u. Knol, Physica **2**, 166.
302) Nahmias u. Walen, Journ. de Phys. **4**, 153.
303) Pool, Cork u. Thornton, Phys. Rev. **52**, 239.
304) Chang, Goldhaber u. Sagane, Nature **139**, 692.
305) Pool, Cork u. Thornton, Phys. Rev. **52**, 41.
306) Bjerge, Nature **139**, 757.

307) Booth u. Hurst, Proc. Roy. Soc. **161**, 248.
308) Ridenour u. Henderson, Phys. Rev. **52**, 889.
309) Walke, Phys. Rev. **52**, 400.
310) Snell, Phys. Rev. **52**, 1007.
311) Walke, Phys. Rev. **52**, 777.
312) Walke, Phys. Rev. **52**, 669.
313) Stephens, Djanab u. Bonner, Phys. Rev. **52**, 1079.
314) Cacciapuoti u. Segré, Phys. Rev. **52**, 901.
315) Stewart, Lawson u. Cork, Phys. Rev. **52**, 901.
316) Kraus u. Cork, Phys. Rev. **52**, 763.
317) Lawson u. Cork, Phys. Rev. **52**, 533.
318) Roaf, Proc. Roy. Soc. **159**, 133.
319) Walke, Phys. Rev. **52**, 663.
320) Bacon, Grisewood u. van der Merwe, Phys. Rev. **52**, 668.
321) Mitchell u. Langer, Phys. Rev. **52**, 137.
322) Risser, Phys. Rev. **52**, 768.
323) Risser, Phys. Rev. **51**, 1013.
324) Heyn, Physica **2**, 160.
325) Rotblat, Nature **139**, 1111.
326) Oeser u. Tuck, Nature **139**, 1110.
327) Pool, Cork u. Lawrence, Phys. Rev. **52**, 41.
328) Harteck, Knauer u. Schaeffer, Naturwiss. **29**, 477.
329) Heyn, Nature **139**, 842.
330) Fleischmann, Zeitschr. f. Phys. **107**, 305.
331) Bertl, Oboril u. Sitte, Zeitschr. f. Phys. **106**, 463.
332) Reddemann u. Straßmann, Naturwiss. **25**, 459.
333) Bertl, Oboril u. Sitte, Nature **139**, 964.
334) Guében, Ann. Soc. sc. Bruxelles **57**, 22.
335) Pool, Cork u. Thornton, Phys. Rev. **52**, 380.
336) Lawson u. Cork, Phys. Rev. **52**, 533.
337) Mitchell, Phys. Rev. **51**, 995.
338) Pool, Cork u. Thornton, Phys. Rev. **52**, 380.
339) McMillan, Kamen u. Ruben, Phys. Rev. **52**, 375.
340) Braun, Preiswerk u. Scherrer, Nature **140**, 682.
341) Curie u. Savitch, Journ. de Phys. **10**, 385.
342) Meitner, Ann. d. Phys. (5) **29**, 246.
343) Meitner, Hahn u. Straßmann, Zeitschr. f. Phys. **106**, 249.
344) Pool, Cork u. Thornton, Phys. Rev. **51**, 890.
345) Nahmias, Phys. Rev. **52**, 525.
346) Gilbert, Smith u. Fremlin, Nature **139**, 796.
347) Paneth u. Rosenblum, Nature **139**, 797.
348) Bertl, Fürth, Oboril u. Sitte, Nature **139**, 716.
349) Thomson u. Paxton, Phys. Mag. **7**, 23, 241.
350) Bothe u. Gentner, Zeitschr. f. Phys. **106**, 236.
351) Bothe u. Gentner, Naturwiss. **25**, 284.
352) Paneth u. Glückauf, Nature **139**, 712.
353) Alvarez, Phys. Rev. **52**, 134.
354) Mitchell, Phys. Rev. **52**, 1.
355) Nahmias, Phys. Rev. **52**, 666.
356) Bakker, Physica **4**, 1224.
357) Heyn, Physica **4**, 1224.
358) Veldkamp u. de Vries, Physica **4**, 1229.
359) Bower u. Petri, Proc. Camb. Phil. Soc. **33**, 534.
359a) Clay u. van Tijn, Physica **4**, 909.
359b) Amaldi, Physik. Zeitschr. **38**, 692, 1937.

1938

360) Reddemann, Naturwiss. **26**, 124.
360a) Gentner, Naturw. **26**, 109.
361) Soltan u. Wertenstein, Nature **141**, 76.
362) Pool, Phys. Rev. **53**, 116.
363) Pool u. Campbell, Phys. Rev. **53**, 272.
364) Sagane, Phys. Rev. **53**, 212.
365) Alvarez, Phys. Rev. **53**, 215.
366) Mann, Phys. Rev. **53**, 212.
367) Abelson, Phys. Rev. **53**, 211.
368) Richardson, Phys. Rev. **53**, 124.
370) Thornton, Phys. Rev. **53**, 326.
371) Du Bridge, Barnes, Wiig, Buck u. Strain, Phys. Rev. **53**, 326.
372) Mitchell, Phys. Rev. **53**, 269.
373) Ramsay, C. G., u. D. D. Montgomery, Phys. Rev. **53**, 196.

Berlin-Charlottenburg.

(Eingegangen 11. April 1938)

BESPRECHUNGEN

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder vom Verlag angezeigten Bücher sind in allen deutschen Buchhandlungen zu erhalten

H. Ertel, Methoden und Probleme der dynamischen Meteorologie. Gr.-8°. Berlin 1938. Julius Springer. Preis RM 14.—.

I. Thermo-hydrodynamische Grundlagen.

Der erste Teil der Ertelschen Arbeit gibt eine kurze, aber klare Zusammenstellung der Begriffe und Sätze, die die Grundlage der dynamischen Meteorologie bilden.

Nach einem Überblick über die Zusammensetzung der Atmosphäre werden die Hauptsätze der Thermodynamik und ihre Anwendungen auf die Untersuchung von Gleichgewichtszuständen und spezielle thermodynamische Zustandsänderungen (Polytropen, Kreisprozesse) besprochen. Wichtige Begriffe werden sorgfältig geklärt (Ideales Gas, S. 6; Unterschied von reversibel und quasistatisch, S. 7; Isentropie und Adiabasie, S. 9). Der einleitende thermodynamische Teil wird mit der Behandlung der Thermodynamik feuchter Luft und der Gesetze der Wärmestrahlung abgeschlossen. Die Benutzung der tensoranalytischen Darstellungsweise für die Grundgleichungen der Hydrodynamik bedeutet einen Gewinn an Kürze.

II. Allgemeine Dynamik der Atmosphäre.

Am Anfang des zweiten Teiles seiner Arbeit zeigt Ertel, wie sich die Bewegungsgleichungen für die rotierende Erde aus den Ansätzen der allgemeinen Mechanik ableiten lassen. Der Ausdruck für die Corioliskraft wird aus den Lagrangeschen Gleichungen 2. Artermittelt. Die Bewegungsgleichungen in Polarkoordinaten gehen durch Spezialisierung aus einer tensoranalytischen, vom Koordinatensystem unabhängigen Formulierung der Grundgleichungen hervor (siehe auch Handbuch der Physik, Bd. VII, Kap. 2, S. 94).

Die gewonnenen Gleichungen werden wegen des turbulenten Charakters der meisten atmosphärischen Strömungen zu Gleichungen für „ausgeglichene" Bewegungen (Hesselberg) weiterentwickelt. Durch Verallgemeinerung von Gedankengängen von Reynolds (siehe Lamb § 346) und Prandtl ergeben sich für die „ausgeglichenen" (gemittelten) Größen Bewegungsgleichungen, die sich von den ursprünglichen Gleichungen durch einen zusätzlichen „virtuellen" Reibungsterm unterscheiden. Dieser läßt sich aus einem „Austauschtensor" ableiten, der eine Verallgemeinerung des Schmidtschen Austauschkoeffizienten darstellt.

Nach Besprechung einiger wichtiger, von V. Bjerknes in die Meteorologie eingeführter Begriffe (Geopotential, dynam. Meter, Homotropie, Piezotropie, Autobarotropie, usw.) wird in neuer Form das Bjerknessche Zirkulationstheorem abgeleitet. Dessen interessante Anwendungen Sandströms auf stationäre Verhältnisse werden mitgeteilt.

Ertel weist weiter nach, daß sich aus den atmosphärischen Bewegungsgleichungen ein Variationsprinzip ableiten läßt, das dem Prinzip der kleinsten Wirkung der allgemeinen Mechanik entspricht. Die auf Ansätze von Margules zurückgehenden neueren Untersuchungen über atmosphärische Energetik werden behandelt. Dabei werden die Fragen der Herkunft der Zyklonenenergie, der atmosphärischen Energieumwandlung (Refsdal, Brunt), des Wirkungsgrades atmosphärischer Bewegungen und des atmosphärischen Energieverbrauchs durch Reibung referierend gestreift.

III. Spezielle Dynamik der Atmosphäre.

Der dritte Teil der Ertelschen Arbeit beginnt mit Untersuchungen zur Statik der Atmosphäre (statische Grundgleichung, polytrope Atmosphären). Die Stabilitätskriterien für trockene und gesättigt-feuchte Luft werden auf verschiedenen Wegen entwickelt, ihre Bedeutung wird ausführlich klargelegt. Eingehende Betrachtungen über Labilitätsprobleme werden mit der Besprechung von Diagrammpapieren verbunden. Die Theorien zur Erklärung der geometrischen Zustandskurve (Humphreys, Gold, Emden, Simpson), sowie die neueren Arbeiten zur atmosphärischen Wärmestrahlung von Mügge, Möller, Albrecht u. a. werden besprochen. Den Schluß der speziellen statischen Betrachtungen bildet die Behandlung der „quasistatischen" Zustandsänderungen in vertikalen Luftsäulen durch reine Massenzufuhr (-abfuhr) in der Höhe (Advektion) bei Annahme eines advektionsfreien Raumes in den unteren Schichten (Steiner, Rossby, u. a.) und bei Verzicht auf einen solchen advektionsfreien Raum (Rossby, Ertel).

Bei der Untersuchung stationärer Windfelder gilt das Hauptinteresse dem geostrophisch-antitriptischen Windfeld (Terminologie von Jeffreys). Die Reibungsansätze, die zur Herstellung einer guten Übereinstimmung von Theorie und Beobachtung von verschiedenen Autoren eingeführt worden sind, werden diskutiert. Dabei ist allerdings zu beachten, daß die Berücksichtigung der Bahnkrümmung eine Korrektur in der gleichen Größenordnung liefert (Haurwitz). Die mit den Namen von Helmholtz, Margules, V. Bjerknes verbundenen Untersuchungen stationärer Diskontinuitäten nullter Ordnung werden durch Betrachtung der Tropopause als Diskontinuitätsfläche 1. Ordnung erweitert. Die für kleine Störungen einer Diskontinuitätsfläche gültigen „atmosphärischen Störungsgleichungen" (V. Bjerknes) werden in Eulerscher und Lagrangescher Form entwickelt. Die auf eine Frequenzgleichung führende Integrationsmethode (Solberg) wird angedeutet.

Die Anwendbarkeit der Gleichungen des geostrophischen Windfeldes bei nichtstationären Druckfeldern (Exner, Defant) wird kritisch untersucht, aber unter gewissen Annahmen als berechtigt nachgewiesen. Besonders weitreichend erweist sich die zweite Annahme, bei der die Gleichungen des geostrophischen Windfeldes durch kleine Zusatzgrößen, für die bestimmte Differentiationsbedingungen gelten, erweitert werden. (Anwendung auf Sätze von Rotzoll, Scherhag, Schmauss.) Ertel zeigt weiter, daß eine von Brunt und Douglas gegebene Erweiterung der Gleichungen des geostrophischen Windfeldes in Widerspruch mit Untersuchungen von Möller und Sieber ist, nach denen der Differenzvektor von „wahrem" Wind und Gradientwind auf dem isallobarischen Gradienten senkrecht steht. Die Ertelsche Annahme einer Relaxationszeit führt dagegen zu Übereinstimmung mit den Beobachtungen.

Die Arbeit, eine sehr schöne einheitliche Zusammenfassung der wichtigsten Untersuchungen der letzten Jahre, zeichnet sich besonders aus durch scharfe Formulierung der Begriffe; die starke Zusammendrängung des Stoffes macht sie nicht überall leicht lesbar. Die zahlreichen Literaturangaben, die die glänzende Stoffbeherrschung des Verfassers zeigen, sind sehr willkommen. Weickmann.

NACHRICHTEN

Begriffe Gewicht und Maße endgültig genormt. In dem vor kurzem erschienenen Normblatt Din 1305 „Gewicht, Maße, Menge" (2. Ausgabe Juli 1938) sind nunmehr vom Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen diese Begriffe endgültig festgelegt worden und zwar in folgenden Sätzen: „Das Gewicht eines an einem Ort der Erde ruhenden Körpers ist die Kraft, die er im luftleeren Raum auf seine Unterlage ausübt. Das Gewicht ändert sich proportional der Fallbeschleunigung."

Habilitiert: An der Universität Leipzig Dr. Karl Pilowski für Astronomie, an der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. Johannes Fischer für Theorie der Elektronenröhren.

Ernannt: Der beamtete a. o. Professor an der Universität Berlin Dr. Erhard Landt zum ord. Professor für angewandte Physik ebenda, der Dozent an der Universität Halle Dr. Heinz Pose zum a. o. Professor für Physik ebenda, der Oberingenieur am Institut für chemische Technologie der Universität Breslau Dr. Carl Kröger zum a. o. Professor für Chemie ebenda, der Dozent an der Bergakademie in Klausthal Dr. Ing. Karl Bechtold zum Vertreter der ord. Professur für Elektrotechnik an der Bergakademie Freiberg i. S.

Gestorben: Der frühere Demonstrator in der organischen Chemie an der Universität Oxford James Ernest Marsh F. R. S., der frühere Leiter der Betriebe Schimmel & Co., Miltitz (Autorität auf dem Gebiete der ätherischen Öle und Riechstoffe), Professor Dr. Eduard Gildemeister.

Verantwortlicher Schriftleiter: Professor Dr. Dr. h. c. P. Debye, Berlin. — Für den Anzeigenteil verantwortlich: A. Plohmann, Leipzig. — Verlag S. Hirzel, Leipzig C1, Königstr. 2. — Druck: Bibliographisches Institut AG., Leipzig. — D. A. 1330. I. Vj. 1938. — Zur Zeit gilt Anzeigenpreisliste 3. — Printed in Germany